

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“CARACTERIZACIÓN DENDROECOLÓGICA, ANATÓMICA Y
FÍSICA DE LA MADERA JUVENIL DE *Araucaria angustifolia*
PROVENIENTE DE OXAPAMPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

JORDAN CRISTOPHER ROMERO CARRANZA

LIMA-PERÚ

2019

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**“CARACTERIZACIÓN DENDROECOLÓGICA, ANATÓMICA Y
FÍSICA DE LA MADERA JUVENIL DE *Araucaria angustifolia*
PROVENIENTE DE OXAPAMPA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL

JORDAN CRISTOPHER ROMERO CARRANZA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Moisés Pascual Acevedo Mallque, Mg.Sc.

Presidente

.....
Ing. Julio Cesar Canchucaya Rojas, Mg.Sc.

Miembro

.....
Ing. Sonia Cesarina Palacios Ramos, Mg.Sc.

Miembro

.....
Ing. Milo Bozovich Granados, Mg. Sc.

Asesor

.....
Ing. Manuel Chavesta Custodio, Mg.Sc.

Co Asesor

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor y misericordia, por hacerme volver incontables veces por el buen camino y permitirme conocer a personas amables y honorables.

A mi abuela que está en el cielo por su cuidado y enseñanza.

A mi familia, en especial a mi madre por su incondicional apoyo.

A todos los apasionados por la ciencia, que quieren dejar un legado intelectual.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesor Milo Bozovich y coasesor Manuel Chavesta por su guía y paciencia en esta etapa.

Al profesor Jose Luis por ser el nexo en mi aprendizaje en Dendrocronología, experiencia que no olvidaré.

Al profesor Rolando por su guía en el análisis de datos y elaboración de gráficos.

Al señor David por sus indicaciones en el laboratorio de Anatomía de la madera.

A Angie por estar siempre a mi lado en los cambios trascendentales de mi vida.

A todos los que ponen su granito de arena en el funcionamiento de R.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1. GENERALIDADES DE <i>Araucaria angustifolia</i>	3
1.1. DISTRIBUCIÓN NATURAL	3
1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	3
1.3. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS	3
1.4. CALIDAD DE SITIO.....	3
1.5. SILVICULTURA.....	4
1.6. USOS	4
2. ANATOMÍA DE LA MADERA	5
2.1. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL	5
2.2. MADERA JUVENIL Y ADULTA.....	5
3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	6
3.1. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL	6
3.1.1. DENSIDAD BÁSICA	6
3.1.2. CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA.....	7
4. DENDROECOLOGÍA	7
4.1. CRECIMIENTO	7
4.2. DENDROCRONOLOGÍA	8
4.3. ESTUDIOS DENDROECOLÓGICOS.....	8
4.4. ANÁLISIS FUSTAL.....	9
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
1. ÁREA DE ESTUDIO.....	11
1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN	11
2. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL.....	11
2.1. DISEÑO DE TRABAJO	11
2.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	12
3. ANATOMÍA DE LA MADERA	12

3.1.	PREPARACIÓN DE LÁMINAS HISTOLÓGICAS	12
3.2.	PREPARACIÓN DE TEJIDO MACERADO	13
3.3.	MEDICIÓN DE ELEMENTOS XILEMÁTICOS.....	13
4.	PROPIEDADES FÍSICAS	14
4.1.	ENSAYOS EXPERIMENTALES	14
4.2.	CLASIFICACIÓN	14
5.	RELACIÓN ENTRE ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	14
6.	DENDROECOLOGÍA	15
6.1.	ANÁLISIS FUSTAL.....	15
6.1.1.	CONTEO Y MEDICIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO	15
6.1.2.	CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL FUSTE	16
6.1.3.	CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL Y VOLUMEN	17
6.1.4.	DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE FORMA.....	18
6.1.5.	DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO	19
6.2.	INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO RADIAL	19
6.2.1.	RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS Y DETERMINACIÓN DE LA EDAD	19
6.2.2.	MEDICIÓN DE ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO.....	20
6.2.3.	DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO	20
7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	22
7.1.	ANÁLISIS EXPLORATORIO.....	22
7.2.	CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS.....	22
7.3.	DISEÑO EXPERIMENTAL	22
7.3.1.	ANÁLISIS LONGITUDINAL	23
7.3.2.	ANÁLISIS A NIVEL RADIAL	24
7.4.	RELACIÓN ENTRE ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	24
7.4.1.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y VARIABLES ANATÓMICAS.....	24
7.4.2.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.....	24
7.4.3.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.....	25

7.5.	DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO.....	26
7.5.1.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y CRECIMIENTO RADIAL.....	26
7.5.2.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.....	26
7.5.3.	ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.....	27
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
1.	ANATOMÍA.....	28
1.1.	CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA.....	28
1.2.	VARIACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE TRAQUEIDAS	32
1.2.1.	ANÁLISIS EXPLORATORIO.....	32
1.3.	COMPARACIÓN POR NIVEL DE FACTOR	36
2.	PROPIEDADES FÍSICAS	38
2.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	38
2.2.	ANÁLISIS EXPLORATORIO.....	39
2.3.	COMPARACIÓN POR NIVEL DE FACTOR	42
3.	RELACIÓN ENTRE LA ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.....	44
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	44
3.2.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.....	46
4.	DENDROECOLOGÍA	49
4.3.	ANÁLISIS FUSTAL.....	49
4.4.	CRECIMIENTO	53
4.5.	INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO RADIAL.....	54
4.5.1.	DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO	54
4.5.2.	REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.....	62
V.	CONCLUSIONES	63
VI.	RECOMENDACIONES	64
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
VIII.	ANEXOS	73

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Clasificación de propiedades físicas	14
Tabla 2: Caracterización global anatómica	31
Tabla 3: Comparación de dimensiones anatómicas	31
Tabla 4: Estadísticas descriptivas de dimensiones de traqueidas	33
Tabla 5: Comparación de medias de las dimensiones anatómicas a nivel radial y longitudinal de <i>A. angustifolia</i>	38
Tabla 6: Caracterización global de las propiedades físicas	39
Tabla 7: Comparación de propiedades físicas	39
Tabla 8: Estadísticas descriptivas de densidad básica y contracción volumétrica a nivel radial y longitudinal	40
Tabla 9: Comparación de medias a nivel radial y longitudinal de la densidad básica (g/cm^3) y contracción volumétrica (%) de la madera de <i>A. angustifolia</i>	44
Tabla 10: Promedios de propiedades físicas y dimensiones anatómicas por posición longitudinal y radial	45
Tabla 11: Variables dendrométricas de <i>A. angustifolia</i> proveniente de plantación en Oxapampa.....	52
Tabla 12: Variables dendrométricas de <i>A. angustifolia</i> proveniente de la estación experimental de Rio Negro – PR.....	52
Tabla 13: Índices de forma por altura	53
Tabla 14: Variación de las variables climáticas y crecimiento radial a diferentes alturas por período anual	54

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Posiciones longitudinales y radiales evaluadas	12
Figura 2: Medición de traqueidas. A-Longitud de traqueidas. B- Ancho de traqueidas, diámetro de lumen y espesor de pared	13
Figura 3: Discos a diferentes alturas	15
Figura 4: Identificación y medición de anillos anuales de crecimiento	16
Figura 5: Perfil longitudinal a) luego de la unión de puntos b) luego de calcular la altura de término de los anillos de crecimiento	16
Figura 6: Esquema del método del paralelismo para la interpolación de la altura del término del anillo	17
Figura 7: Cálculo de volumen parcial y total	18
Figura 8: Discos a diferentes niveles basales: A – tocón, B – 0,7 m y C – 1,3 m.....	20
Figura 9: Identificación y medición de anillos anuales de crecimiento	20
Figura 10: Climatograma de Oxapampa 2008-2016.....	21
Figura 11: Flujograma del análisis estadístico	23
Figura 12: Sección transversal de <i>A. angustifolia</i> y distinción de anillo de crecimiento	28
Figura 13: Límite del anillo de crecimiento de <i>A. angustifolia</i> y forma de células.....	30
Figura 14: Sección radial de <i>A. angustifolia</i>	30
Figura 15: Campo de entrecruzamiento de <i>A. angustifolia</i> . A– Punteaduras araucarioides. B – Punteaduras areoladas alternas en 1 y 2 series	31
Figura 16: Sección tangencial de <i>A. angustifolia</i> . A – Conjunto de radios uniseriados. B – Radio uniseriado extenso	31
Figura 17: Histograma de frecuencias y diagrama de cajas de las dimensiones anatómicas por posición radial	34
Figura 18: Histograma de frecuencias y diagrama de cajas de las dimensiones anatómicas por posición longitudinal.....	35
Figura 19: Variación media de las Dimensiones anatómicas a nivel radial	37
Figura 20: Variación media de las dimensiones anatómicas a nivel longitudinal.....	37
Figura 21: Sección transversal de la madera de <i>A. angustifolia</i> a diferentes alturas. A - 0,3 m. B - 2,3 m. C - 4,3 m. D - 6,3m.....	38

Figura 22: Histogramas de frecuencia y diagramas de caja de densidad básica y contracción volumétrica por posición radial y longitudinal de la madera de <i>A. angustifolia</i>	41
Figura 23: Variación media de densidad básica y contracción volumétrica a nivel radial y longitudinal.....	43
Figura 24: Variación media de las propiedades físicas por posición longitudinal y radial..	45
Figura 25: Variación media de las dimensiones anatómicas por posición longitudinal y radial.....	46
Figura 26: Correlación entre propiedades físicas y dimensiones anatómicas	47
Figura 27: Perfil longitudinal de <i>A. angustifolia</i> por método convencional	51
Figura 28: Curva de ICA e IMA de <i>A. angustifolia</i> proveniente de Oxapampa y Rio Negro	53
Figura 29: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs precipitación en el período enero – diciembre	56
Figura 30: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs temperatura en el período enero – diciembre	56
Figura 31: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de <i>A.</i> <i>angustifolia</i> a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período enero – diciembre	57
Figura 32: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs precipitación en el período septiembre – agosto.....	58
Figura 33: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs temperatura en el período septiembre – agosto.....	58
Figura 34: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de <i>A.</i> <i>angustifolia</i> a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período septiembre – agosto	59
Figura 35: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs precipitación en el período octubre – septiembre	60
Figura 36: Cronología del crecimiento radial de <i>A. angustifolia</i> vs temperatura en el período octubre – septiembre	60
Figura 37: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de <i>A.</i> <i>angustifolia</i> a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período octubre – septiembre	61

Índice de anexos

	Página
Anexo 1. Anatomía de la madera	73
Anexo 2. Propiedades físicas de los individuos evaluados	96
Anexo 3. Relación entre anatomía y propiedades físicas de la madera	100
Anexo 4. Análisis fustal	102
Anexo 5. Influencia climática.....	104

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo contribuir al conocimiento de la heterogeneidad de la madera de *Araucaria angustifolia* de seis años proveniente de una plantación forestal en Oxapampa, mediante análisis de la variabilidad de la anatomía y propiedades físicas de la madera y la relación entre estas, evaluación de la tasa de crecimiento con el método de análisis fustal convencional y determinación de la influencia del clima en el crecimiento radial. Se planteó un Diseño completamente al azar para el análisis de la variabilidad radial, compuesta por tres niveles de factor: I (cercana a médula), II (intermedia) y III (cercana a corteza) y la variabilidad longitudinal, compuesta por cuatro niveles de factor: 0,3; 2,3; 4,3 y 6,3 m de altura. Se realizaron análisis de correlación, regresión lineal simple y múltiple entre las variables físicas densidad básica y contracción volumétrica y las variables anatómicas longitud de traqueidas y espesor de pared. Se determinaron las variables dendrométricas a partir de la construcción del perfil longitudinal de cuatro individuos de *A. angustifolia*. Se evaluó la influencia de las variables climáticas en el crecimiento radial en diferentes períodos anuales. En posiciones más cercanas a la base y corteza se encontraron mayores valores de longitud de traqueidas, espesor de pared, densidad básica y contracción volumétrica. El espesor de pared de traqueidas fue la variable predictora anatómica que mejor explicó la variabilidad de la densidad básica y contracción volumétrica promedio, con 76,17% y 85,49% respectivamente. El análisis fustal demostró ser un método adecuado para la evaluación de las tasas de crecimiento de *A. angustifolia*, con ICA de $1,93 \pm 0,25$ cm e IMA de $1,89 \pm 0,10$ cm. La precipitación en el período octubre – septiembre fue la variable predictora climática que mejor explicó la variabilidad del crecimiento radial promedio a 1,3 m de altura con 83,82%.

Palabras clave: propiedades de la madera, variabilidad de la madera, anillo de crecimiento, dendrometría, madera juvenil.

ABSTRACT

This study aims to contribute to the knowledge of the heterogeneity of the six-year-old *Araucaria angustifolia* wood from a forest plantation in Oxapampa, by analyzing the variability of the anatomy and physical properties of the wood and the relationship between them, evaluation of the growth rate with the conventional fustal analysis method and determination of the influence of climate on radial growth. A completely randomized design was proposed for the analysis of radial variability, composed of three levels of factor: I (near the pith), II (intermediate) and III (near the bark) and longitudinal variability, consisting of four levels of factor: 0.3; 2.3; 4.3 and 6.3 m high. Correlation analyzes were performed, simple and multiple linear regression between the physical variables basic density and volumetric contraction and the anatomical variables of tracheid length and wall thickness. Dendrometric variables were determined from the construction of the longitudinal profile of four individuals of *A. angustifolia*. The influence of climatic variables on radial growth in different annual periods was evaluated. In positions closer to the base and bark were higher values of tracheid length, wall thickness, basic density and volumetric contraction. Tracheid wall thickness was the anatomical predictor variable that best explained the variability of the basic density and average volumetric contraction, with 76.17% and 85.49% respectively. The fustal analysis proved to be an adequate method for the evaluation of the growth rates of *A. angustifolia*, with ICA of 1.93 ± 0.25 cm and IMA of 1.89 ± 0.10 cm. Precipitation in the October - September period was the climatic predictor variable that best explained the variability of the average radial growth at 1.3 m high with 83.82%.

Key words: wood properties, wood variability, growth ring, forest mensuration, juvenile wood.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las especies arbóreas es muy importante para el ordenamiento y manejo forestal (Cubas, 2015) y está relacionado con las propiedades físicas, anatómicas y tecnológicas de la madera (Vignote *et al.*, 2013). Así mismo, el estudio de estas propiedades debe considerar la presencia de parámetros de crecimiento como madera adulta y juvenil, así como, de leño temprano y tardío en los anillos de crecimiento para una completa descripción (Rosa, Hillig y Viana, 2013).

En plantaciones forestales donde se desconoce la fecha de instalación y/o no se tienen registros periódicos de crecimiento es imprescindible recuperar información. En la actualidad, la única plantación conocida y de gran extensión de *A. angustifolia*, se ubica en Oxapampa (Pasco) la cual no cuenta con monitoreo de crecimiento.

Estudios dendrocronológicos, en Brasil, demuestran que *A. angustifolia* es sensible a las bajas temperaturas en el invierno ya que interrumpe su tasa de crecimiento y la periodicidad de formación de los anillos (Fontana, Olmedo y Oliveira, 2018; Santarosa, Oliveira y Roig, 2007; Lorensi y Prestes, 2015; Oliveira, 2007). Los estudios dendroecológicos determinan la relación entre el crecimiento y las variables climáticas (Oliveira, 2007), y estos deben apoyarse en la caracterización de la anatomía y propiedades de la madera para dar explicación a los cambios sufridos durante el crecimiento.

El ancho de los anillos de crecimiento está influenciado por la duración del período vegetativo, temperatura, manejo silvicultural, precipitación, calidad del suelo y luminosidad (Rosa *et al.*, 2013). La medición de estos permite la obtención rápida y segura de parámetros biométricos del crecimiento histórico de los árboles, que son fundamentales para el manejo forestal (Canetti, Mattos y Braz, 2013). Este registro permite conocer los patrones de crecimiento en diámetro, altura y forma (Cancino, 2012), lo cual incrementa la precisión de la estimación del volumen.

Hess, Schneider y Finger (2009) indican que el crecimiento de *A. angustifolia* posee el mismo patrón de crecimiento (forma sigmoide de la curva), en diferentes regiones de Brasil, y demuestran un buen potencial de crecimiento medio, pudiéndose cultivar con expectativa de retorno económico. Estudios realizados en distintos países sudamericanos indican crecimientos destacados, con Incrementos medios anuales (IMAs) de 1,3 cm; 0,7 m y 13 m³/ha en diámetro, altura y volumen respectivamente (Di Marco, 2012, Hess *et al.*, 2009, Retamoso, 2009 y Montoya, 2017).

Rolim y Ferreyra (1974), encontraron diferencias significativas, en individuos de 15 años al nivel del diámetro a la altura del pecho (dap), entre la densidad básica promedio de los anillos producidos a partir del noveno año (0,46 g/cm³). Los primeros anillos tuvieron una densidad básica relativamente baja de 0,36 g/cm³ en comparación con los últimos anillos de 0,52 g/cm³. Los valores de contracción radial, tangencial y volumétrica fueron de 3,9%, el 5,7% y el 9,9%, respectivamente (Timofiecsyk y Mattos, 2002).

Así mismo, Melo, Stangerlin, Menezzi, Gatto y Calegari (2010) demostraron que la densidad básica, el número de anillos por centímetro lineal y el porcentaje de leño tardío incrementaban de la médula hacia la corteza. Timofiecsyk y Mattos (2002) indican que las traqueidas son medianas (3,49 mm, en promedio), con espesor de paredes promedio de 6,23 μm.

Esta investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento de *A. angustifolia*, especie de rápido crecimiento y de diversos usos por su fácil trabajabilidad (Di Marco, 2012), proveniente de una plantación forestal en Oxapampa, a través del análisis de la variabilidad de la anatomía y propiedades físicas de la madera y la relación entre estas, la evaluación de la tasa de crecimiento con el método de análisis fustal convencional y la determinación de la influencia del clima en el crecimiento radial y con ello brindar al silvicultor y tecnólogo de la madera más herramientas para la toma de decisiones en futuras inversiones en plantaciones forestales en el país.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. GENERALIDADES DE *Araucaria angustifolia*

1.1. DISTRIBUCIÓN NATURAL

A. angustifolia es una de las 12 especies del género, se distribuye naturalmente desde 19° de latitud sur en el estado meridional de Brasil, Mina Gerais, Rio Grande do Sul, hasta 30° latitud sur en Argentina, nordeste de la provincia de Misiones (Di Marco, 2012).

1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Árbol perenne que alcanza 35 metros de altura y diámetros de 50 a 150 cm. Fuste recto, cilíndrico y libre de ramas en casi toda su extensión en la edad adulta. Hasta los diez o doce años de edad la copa es de forma piramidal, luego comienza a ensancharse y adquiere progresivamente su característica forma aparasolada. Corteza gruesa de color pardo rojiza con grandes lenticelas horizontales. Hojas espiraladas, simples y alternas, de forma lanceolada, sésiles, y consistencia coriácea. Ápice agudo y mucronado. Flores dioicas, las masculinas dispuestas en amentos y las femeninas formando conos o estróbilos. Los frutos, que llegan a medir entre 14 y 18 cm de diámetro, alcanzan la madurez luego de casi dos años (Di Marco, 2012).

1.3. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

Color de albura blanco amarillento, color duramen blanco ocráceo con vetas rosadas, textura fina y homogénea, brillo suave, olor ausente, grano recto y vetado suave o algo marcado (Instituto Forestal Nacional [IFONA], 2004).

1.4. CALIDAD DE SITIO

La calidad de sitio es la capacidad de una localidad para producir madera y se expresa como la suma de las variables climáticas, edáficas, topográficas y la competencia; en general, localidades con mejor calidad de sitio, presentan mayores tasas de crecimiento radial y se alcanza más rápido la edad de culminación del crecimiento, mientras que el

crecimiento en altura depende del grupo ecológico de la especie y la exposición a la luz (Cancino, 2012).

A. angustifolia crece desde 300 hasta 2 300 msnm, con lluvias anuales de 1 200 a 2 500 mm y temperaturas medias anuales de 12 a 21 °C. Puede soportar 3 meses con precipitaciones menores a 1,2 mm y temperaturas medias anuales menores a -10 °C y mayores a 35 °C. Prefiere los terrenos planos y ondulados y de buen drenaje, húmedos, ricos, profundos y ácidos, pH: 5.0 - 6.0 (Retamoso, 2009; Di Marco, 2012).

1.5. SILVICULTURA

Es una especie heliófita y el único medio de reproducción es a través de semillas (Solórzano, 2001). Las densidades de plantación más frecuentes oscilan entre 800 a 1 600 plantas por ha. Es indispensable la realización de podas para obtener madera de calidad, libre de nudos. La intensidad ideal de los raleos está en función del objetivo de la plantación y de los productos a obtener (Di Marco, 2012). Si el objetivo es producir el máximo de volumen, sin exigencias de calidad y dimensiones de la madera, se recomiendan raleos suaves, es decir, de 0 a 33%, mientras que cuando se desea obtener madera de mejor calidad y mayores diámetros, raleos fuertes de 66% son los más convenientes (Crechi, Keller, Fassola, Fernández y Friedl, 2009).

1.6. USOS

De acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas y por su fácil trabajabilidad, su madera es utilizada en muebles finos (puertas de interiores, marcos de ventanas, mesas), decoraciones, instrumentos musicales, molduras, construcción, laminados, postes impregnados, chapas decorativas, mondadientes, encofrado, palitos para fósforos, palos de escoba, cajonería y carpintería en general (Di Marco, 2012; IFONA, 2004; Timofiecsyk y Mattos, 2002; Retamoso, 2009).

Por el largo de traqueidas y rendimiento de celulosa es apta también como fuente de fibras para la industria de papel, cartón y tableros prensados (Di Marco, 2012 y Retamoso, 2009). Por otro lado, las ramas producen leña de excelente calidad, además, la resina de los nudos de las ramas y de la corteza son empleados para la elaboración de barnices, acetona, trementina y otros productos químicos (Retamoso, 2009).

2. ANATOMÍA DE LA MADERA

2.1. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL

La madera de *A. angustifolia* tiene poca distinción entre la albura y duramen (Evans *et al.*, 2017), está formada principalmente por traqueidas, que miden en promedio 3,78 mm de largo y 39 μm de ancho y por radios medulares principalmente uniseriados y rara vez biseriado con 1 a 8 de alto, cuyas células miden en promedio 209 μm de largo y 28 μm de ancho, no presentan canales resiníferos y parénquima axial, el número de traqueidas por mm^2 oscila entre 350 y 500 (Oliveira, 2007). Estas dimensiones dependen de la edad, así Sieglöch y Marchiori (2015) reportan mayores valores promedios, en madera adulta, de espesor de pared de 7,5 μm , longitud y ancho de traqueidas de 5,181 mm y 53 μm , respectivamente.

A. angustifolia tiene anillos de crecimiento notorios, evidenciados por la diferenciación del xilema en leños inicial y tardío. En el leño inicial, las traqueidas son alargadas radialmente y con la pared celular delgada, dando al xilema una coloración clara. En el leño tardío, las traqueidas son más pequeñas, aplanadas radialmente y con pared celular gruesa, dando al xilema un color oscuro (Santarosa *et al.*, 2007). Paula y Alves (1997) citado por Mattos, Bortoli, Marchesan y Rosot (2006) indican que la longitud de traqueidas en relación a la dirección médula - corteza, son más largos cerca de la corteza con 5,2 mm de longitud y entre 48,3 a 57,5 μm de ancho.

Algunas características anatómicas pueden ser útiles para deducir sus propiedades físico-mecánicas y sus usos (Bárceñas-Pazos, Ortega-Escalona, Ángeles-Álvarez y Ronzón-Pérez, 2005). Arroyo (1983), indica que la densidad básica depende del tamaño de las células, el espesor de sus paredes y la interacción entre el número de células de diferentes tipos.

2.2. MADERA JUVENIL Y ADULTA

Díaz-Vaz (1984) indica que en *Araucaria araucana*, la madera adulta y juvenil tienen fuerte influencia en la variación de la densidad básica, siendo que el último se diferencia por presentar menor densidad básica, mayor ángulo microfibrilar, traqueidas más cortos, mayor contracción longitudinal, mayor proporción de leño de reacción, paredes celulares más finas, entre otros.

Vignote, Martínez-Rojas y Villasante (2013) mencionan que el número de anillos que afecta la madera juvenil varía entre los 5 a 20 primeros, oscilando este número en función de la especie; 5 a 6 años para *Pinus caribaea* y *Pinus radiata*, 10 para *Pinus taeda* y 20 para *Pinus ponderosa*; es decir, la madera juvenil depende fundamentalmente de las características genéticas del árbol. En *A. angustifolia*, se considera que los anillos de crecimiento en madera juvenil presentan anchos mayores a cinco mm, mientras que en madera adulta menores a cinco mm, esto se da a partir de los nueve años (Rolim y Ferreyra, 1974; Rosa *et al.*, 2013).

3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

3.1. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL

3.1.1. DENSIDAD BÁSICA

Rolim y Ferreyra (1974), encontraron diferencias significativas entre las densidades básicas medias de los anillos producidos a partir del noveno año. Esto significa que, a partir de ese punto, el aumento en la densidad tiende a ser menos pronunciado, hecho que se debe tal vez a la formación de madera adulta a partir de esa edad. Los primeros anillos tuvieron una densidad básica relativamente baja de $0,36 \text{ g/cm}^3$ en comparación con los últimos anillos de $0,52 \text{ g/cm}^3$.

Rosa *et al.* (2013), encontraron diferencias significativas entre las densidades básicas de la madera con anillos iguales o mayores que cinco mm ($0,40 \text{ g/cm}^3$) y la madera con anillos menores de cinco mm ($0,48 \text{ g/cm}^3$) correspondiente a la madera juvenil y madura, respectivamente.

Zaque, Ferreira y Melo (2018) comprobaron que la densidad básica de la madera de *A. angustifolia* longitudinalmente fue mayor en la base independientemente de la edad (en el dap: $0,454 \text{ g/cm}^3$ y al 75% = $0,365 \text{ g/cm}^3$) y radialmente en la posición más externa de los árboles (externa = $0,457 \text{ g/cm}^3$; intermedia = $0,410 \text{ g/cm}^3$ y médula = $0,374 \text{ g/cm}^3$). Además, los árboles con mayor edad tuvieron mayores valores de densidad básica en relación a los árboles de menores edades (30 años = $0,451 \text{ g/cm}^3$ y 23 años = $0,389 \text{ g/cm}^3$).

3.1.2. CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

Rosa *et al.* (2013) encontraron diferencias significativas entre la contracción volumétrica de la madera con anillos iguales o mayores a cinco mm (10,30 %) y de madera con anillos menores a cinco mm (11,48%), por lo que la madera juvenil presentó menor contracción volumétrica. Además, Melo *et al.* (2010), indicaron que el aumento de la densidad básica promovió la disminución de la estabilidad dimensional de la madera.

4. DENDROECOLOGÍA

4.1. CRECIMIENTO

El crecimiento de cualquier organismo vivo sigue la forma sigmoideal, presentando tres fases distintas: juvenil que termina el punto de máximo incremento corriente anual; madurez que comienza en el punto de máximo incremento corriente y termina en el máximo incremento promedio anual; y senescencia que comienza partiendo del punto de máximo incremento medio anual (Husch *et al.*, 1972 citado por Hess *et al.*, 2009).

Machado, Zamin, Nascimento y Santos (2014) comprobaron, al estudiar los tres primeros años de individuos juveniles, que las curvas de producción en diámetro de *A. angustifolia* no presentaron forma sigmoideal característica, excepto en el tercer año, en el que hay tendencia al valor asintótico. Se observó una tendencia de creciente producción a lo largo de los años de análisis. Esto refleja, en el primer año, la adaptación de la especie al sitio y, en los años siguientes, una creciente producción siguiendo la tendencia del crecimiento biológico, en la que los individuos, en etapa juvenil, crecen a elevadas tasas.

En Misiones, Argentina, se tuvo un IMA (incremento medio anual) volumétrico de 15-18 m³/ha/año con un turno de corta final estimado para la especie es de 25-30 años (Di Marco, 2012). En Rio Grande do Sul, Brasil, el IMA en diámetro fue de 1,04 cm / año a los 20 años de edad (Hess *et al.*, 2009). En Ibarra, Ecuador con árboles de 35 años se obtuvieron IMAs de 1,23 cm en diámetro, 0,54 m en altura y 18, 49 m³ en volumen (Montoya, 2017). En San Alberto, provincia de Oxapampa, en árboles de 15 años, con 16 m de altura promedio y 31 cm de dap promedio, se determinó un IMA en altura de 1,1 m y un IMA en diámetro de 2,1 cm (Retamoso, 2009).

4.2. DENDROCRONOLOGÍA

La ciencia que analiza e interpreta el crecimiento de los árboles a través del estudio de sus anillos de crecimiento se llama dendrocronología (Lorensi, 2016). La palabra deriva del griego *dendron* –árbol-, *crono* –tiempo- y *logo* –conocimiento- y denomina una disciplina científica que permite datar los anillos de crecimiento anuales, extraer e interpretar la información de los diferentes factores que influyeron en su crecimiento (Gutiérrez, 2009). En general, los anillos de crecimiento son más destacables cuanto más riguroso es la variación ambiental, indicando la fuerte influencia del clima sobre el crecimiento de las plantas (Finger, 1992).

La dendrocronología es una herramienta capaz de reconstruir, con resolución anual, eventos tales como: variación del clima, incendios, inundaciones y dinámica en diversos biomas, y relacionar dichos sucesos a nivel temporal y espacial (Montañez, 2013). En base a esto se desarrollaron diversas aplicaciones como la dendroclimatología, dendropirocronología, dendrohidrología, dendroecología, dendroarqueología, entre otros (Rosero, 2011).

4.3. ESTUDIOS DENDROECOLÓGICOS

La dendroecología, utiliza series de anillos datadas para responder a interrogantes ecológicos. Los anillos de crecimiento almacenan información acerca de factores ambientales que afectan al crecimiento del árbol. Los datos de resolución anual obtenidos por el correcto datado dendrocronológico facilita el análisis de muchos procesos ecológicos a amplias escalas temporales que no podría investigarse con datos obtenidos periódicamente (Amoroso y Suárez, 2015).

El uso de anillos anuales de crecimiento de árboles colabora en diferentes aspectos con la gestión forestal, esto incluye la determinación de tasas de crecimiento radial para la determinación de turnos corta, productividad y evaluación de prácticas silviculturales (Amoroso y Suárez, 2015).

Los árboles muestran reacción a variables ambientales como temperatura, precipitación, etc. que afectan sus procesos fisiológicos, el cual se refleja en la actividad cambial y

formación de anillos de crecimiento, por lo que expresan los eventos ocurridos en el pasado y presente (Rosero, 2011).

La actividad del cámbium es sensible a factores ambientales y queda reflejada en las características de anillos formados. Por lo tanto, la variabilidad del clima, composición atmosférica, características físicas y químicas del suelo, etc. modifican la tasa de formación de nuevas células, determinando, a su vez, las características físicas y químicas de anillos. La variabilidad interanual e intraanual del clima afectará a todos los árboles y quedará reflejada de forma parecida en el anillo formado. La relación entre el crecimiento y el clima, genera en las series de anillos anuales una sincronía (Gutiérrez, 2009).

El crecimiento del árbol se denomina como sensible cuando existe un alto grado de variación anual, produciéndose anillos anchos y estrechos a través del tiempo, mientras que se considera complaciente, cuando existe poca variación del ancho de los anillos de crecimiento (Campos, 2009). Fontana *et al.* (2018), añade que cuanto más variable es el ancho en una secuencia de años, mayor es la sensibilidad de la especie al clima.

A. angustifolia es una especie sensible a los cambios climáticos y a su entorno ecológico, los cuales son registrados en los anillos de crecimiento, que al emplear técnicas de dendrocronología, permiten interpretar la señal ambiental contenida en ellos (Montañez, 2013).

4.4. ANÁLISIS FUSTAL

El análisis fustal o de tronco (ANATRO) es un método retrospectivo para determinar el crecimiento del árbol que consiste en el conteo y medición de anillos de crecimiento en secciones transversales del fuste a diferentes alturas sobre el suelo, con aplicaciones en la Dendroecología y Dendroclimatología (Finger, 1992). Este análisis entrega un registro completo del crecimiento pasado del árbol. Muestra cómo creció el árbol en altura y diámetro y cómo cambia de forma a medida que incrementa en tamaño (Cancino, 2012).

En las empresas forestales el ANATRO se ha utilizado, principalmente, para la verificación de las tasas de incremento medio del bosque, para la evaluación de la reacción del crecimiento a determinadas prácticas de manejo y para el desarrollo de ecuaciones de índice de sitio (Rosot, Figueiredo, Disperati y Emerenciano, 2003) . Además, se pueden

crear modelos matemáticos para la determinación de volúmenes de árboles y trozas y permiten al usuario estimar diámetros en cualquier punto del fuste, altura del fuste en que se encuentra un diámetro específico y volumen entre dos puntos cualesquiera del fuste (Crechi, Keller, Fassola, Moscovich y Kubsch, 2008). A pesar de que el procedimiento es laborioso, ya que se debe registrar la especie y marcar la altura de medición del dap en el árbol en pie, voltear el árbol, registrar la longitud total del fuste, seccionar en discos a lo largo del fuste y llevar al laboratorio, donde se determina la edad contabilizando el número de anillos a la altura del tocón y se realizan las mediciones de los anchos de anillos en cada disco (Cancino, 2012; Rosot, Disperati y Figueiredo, 2001a), este tipo de estudio permite determinar las tasas de incremento medio en diámetro, altura y volumen de manera confiable (Rosot, Disperati y Figueiredo 2001b)

Al verificar las secciones transversales, se puede ver una serie de anillos concéntricos, a veces excéntricos, resultante de la actividad cambial en los períodos de actividad vegetativa y de la reducción del crecimiento durante el reposo fisiológico (Finger, 1992). La mayor o menor regularidad de la forma de las secciones transversales puede expresarse cuantitativamente a través de los parámetros ovalidad y excentricidad. El cociente entre el menor y el mayor diámetro (d / D) determina la ovalidad, mientras que el cociente entre el menor y el mayor radio (r / R) determina la excentricidad (Weise, 1987 citado por Rosot, 2002).

En coníferas, valores de ovalidad mayores a 0,80 indican forma aproximadamente circular, mientras que la excentricidad puede clasificarse como: anillos cuya medula es centrada, levemente excéntrica y excéntrica para valores mayores a 0,80; entre 0,65 y 0,80 y menores a 0,65; respectivamente. A partir de esto, se espera que las mayores diferencias de radios se presenten en áreas más bajas (Rosot, 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. ÁREA DE ESTUDIO

1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN

La plantación se ubica en el departamento de Pasco, provincia de Oxapampa y distrito de Oxapampa, a una altitud de 1800 msnm, con pendiente de 4%, una topografía plana con ligera inclinación, precipitación anual de 1740 mm. Cuenta con una extensión de 1,81 Ha y suelo arenoso, con pH = 5 y un drenaje moderado con presencia de piedras (Jost, 2006).

Se realizó un climatograma con los datos de precipitación acumulada mensual (mm) y temperatura promedio mensual (°C) del Senhami para la determinación del período de crecimiento.

2. VARIACIÓN LONGITUDINAL Y RADIAL

2.1. DISEÑO DE TRABAJO

Se trabajó con cuatro árboles de *A. angustifolia*. Para determinar las diferencias a nivel longitudinal se extrajeron muestras de los individuos en cuatro posiciones longitudinales a 0,3; 2,3; 4,3 y 6,3 m de altura, mientras que, a nivel radial se trabajó en tres posiciones: posición I (cercano a la médula), posición II (intermedia) y posición III (cercano a la corteza). Se midieron las dimensiones de traqueidas (longitud, ancho, diámetro de lumen y espesor de pared celular) y determinaron las propiedades físicas (densidad básica y contracción volumétrica) en cada posición (Figura 1).

Debido al ahusamiento natural de los árboles, los dos últimos niveles longitudinales solo presentaron dos posiciones radiales, ya que el fin fue determinar la variación de la anatomía y propiedades físicas en secciones de madera de mayor longitud.

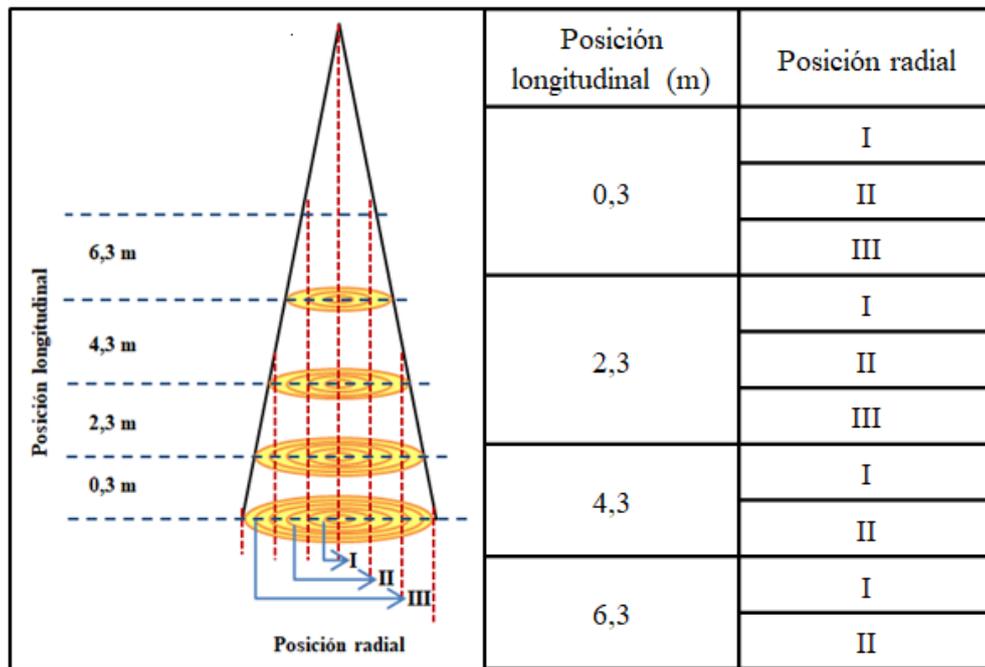


Figura 1: Posiciones longitudinales y radiales evaluadas

2.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos se organizaron con el software Microsoft Excel 2010 y para el análisis estadístico y realización de gráficos de los resultados se utilizó el programa R Studio versión 3.4.3.

3. ANATOMÍA DE LA MADERA

3.1. PREPARACIÓN DE LÁMINAS HISTOLÓGICAS

Se extrajeron cubos de 1x1x2 cm debidamente orientados en sus tres planos de corte. Los cortes fueron realizados con sierra circular. Los cubitos obtenidos fueron colocados en un vaso Pirex de 100 mL y codificados. Se llenó de agua cada vaso y fueron calentados por una cocina eléctrica. Se controló cada cierto tiempo con un punzón hasta que penetre con facilidad.

Con un micrótomos de deslizamiento horizontal se realizaron cortes en las tres secciones. Los cortes fueron depositados en una placa Petri que contuvo alcohol de 30°. Las láminas en las placas Petri fueron deshidratadas utilizando alcohol de 30, 60 y 90° en forma gradual. Se agregaron 5 gotas de safranina y se dejó por 15 minutos. Se lavó con alcohol de 96°, hasta eliminar el exceso de safranina. Después se eliminó el alcohol y agregó xilol

para fijar el colorante. Las láminas cortadas fueron colocadas en placas portaobjetos para lo cual se agregó una gota de Merkoglass antes de cubrirlas con el cubreobjetos.

3.2. PREPARACIÓN DE TEJIDO MACERADO

Se prepararon astillas de madera similares a palitos de fósforo en una cantidad aproximada de $\frac{1}{4}$ de un vaso Pirex de 80 ml, luego se agregó ácido nítrico al 33% en una cantidad que los cubra completamente y fueron llevadas a estufa a una temperatura de 40 a 50 °C por espacio de 15 minutos. Se lavó con agua para eliminar el exceso de ácido. Se agregó alcohol de 96° y 5 gotas de safranina para su coloración y se dejó por una hora y se agregó xilol para fijar el colorante.

Se sacó una porción del macerado para seleccionar las traqueidas con ayuda de una aguja hipodérmica y un microscopio. Se colocaron en portaobjetos y agregó una gota de Merkoglass antes de cubrirlas con el cubreobjetos. Finalmente se etiquetó cada placa según su posición longitudinal y radial.

3.3. MEDICIÓN DE ELEMENTOS XILEMÁTICOS

Se midieron la longitud y ancho de traqueidas, diámetro del lumen y espesor de pared celular de cada posición radial y longitudinal mediante el programa LAS Core versión 4.12, según International Association of Woods Anatomists (IAWA, 2004) (Figura 2).

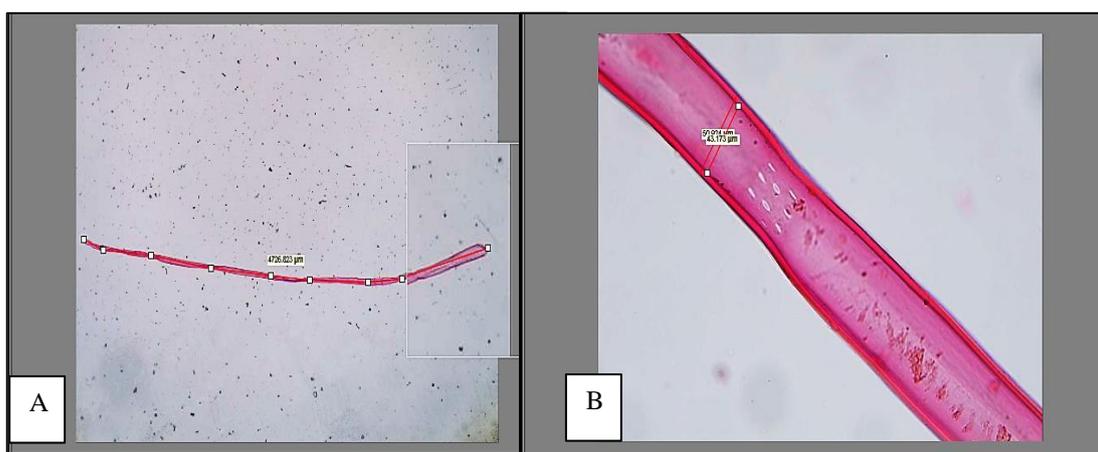


Figura 2: Medición de traqueidas. A-Longitud de traqueidas. B- Ancho de traqueidas, diámetro de lumen y espesor de pared

4. PROPIEDADES FÍSICAS

4.1. ENSAYOS EXPERIMENTALES

Las determinaciones de estas propiedades se realizaron de acuerdo a lo estipulado por la Norma Técnica Peruana las cuales se muestran a continuación:

- NTP 251.010:2014 MADERA. Método para determinar el contenido de humedad.
- NTP 251.011:2014 MADERAS. Método de determinación de la densidad.
- NTP 251.012:2015 MADERAS. Método de determinación de la contracción.

4.2. CLASIFICACIÓN

Las propiedades físicas se clasificaron según lo propuesto por Aróstegui (1982) como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de propiedades físicas

Grupo	Propiedades físicas		Clasificación
	Densidad básica (g/cm ³)	Contracción volumétrica (%)	
I	< 0,3	< 7	Muy baja
II	0,3 – 0,4	7, – 10	Baja
III	0,41 – 0,6	10,1 – 13	Media
IV	0,61 – 0,75	13,1 – 15	Alta
V	> 0,75	> 15	Muy alta

Fuente: Aróstegui (1982)

5. RELACIÓN ENTRE ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Para dar explicación de la variación de las propiedades físicas en base a la variación de las dimensiones de traqueidas, con los valores promedios de estos, se realizaron análisis de correlación, regresión lineal simple y múltiple.

6. DENDROECOLOGÍA

6.1. ANÁLISIS FUSTAL

6.1.1. CONTEO Y MEDICIÓN DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

Como lo indican Rosot (2002) y Soares (2014), se lijaron las superficies de los discos para que los anillos de crecimiento sean claramente visibles y permitir el conteo y medición en los discos extraídos a diferentes alturas: 0,0; 0,3; 0,7; 1,3; 2,3; 3,3 m y así sucesivamente hasta alcanzar la altura total para la construcción del perfil longitudinal del fuste (Figura 3).



Figura 3: Discos a diferentes alturas

Se midieron cuatro radios con regla milimétrica y se tomó el promedio en cada disco (Rosot, 2002). Se consideraron anillos anuales de crecimiento verdaderos a los delimitados por una banda ancha de madera tardía y con anchos mayores a 8,5 mm, mientras que los anillos delimitados por bandas finas de madera tardía y con anchos menores a 8,5 mm se consideraron falsos. En cada radio se realizó el conteo de anillos, enumerándolos desde el cámbium hasta la médula, marcando el final de cada anillo o de un conjunto de anillos equivalente a otro período de incremento. Después de registrar el número total de anillos por rodaja, se midió y registró el largo del radio, es decir la distancia entre la médula y el final de cada anillo (Figura 4).

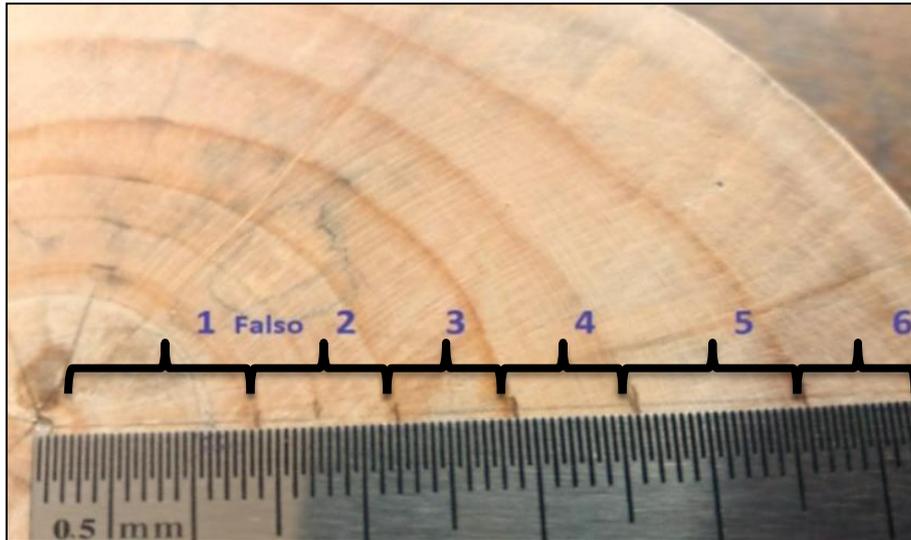


Figura 4: Identificación y medición de anillos anuales de crecimiento

6.1.2. CONSTRUCCIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL FUSTE

Después de la marcación de los radios en cada disco, se unieron los puntos de cada anillo en el eje del árbol, de corteza a médula formando el gráfico del análisis de fuste. Para conocer la altura de término de cada anillo de crecimiento (Figura 5), según el método de Barusso (1977) citado por Soares (2014) (Figura 6), se trazó una paralela al anillo inmediatamente siguiente, en el intervalo considerado, de tal forma que el anillo debe encontrarse con la médula con el mismo ángulo del anillo siguiente.

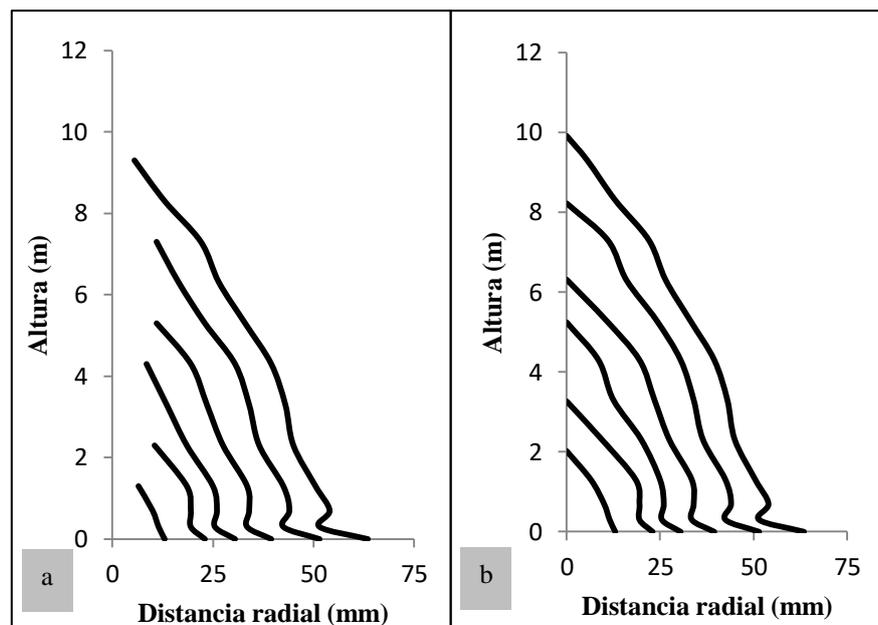


Figura 5: Perfil longitudinal a) luego de la unión de puntos b) luego de calcular la altura de término de los anillos de crecimiento

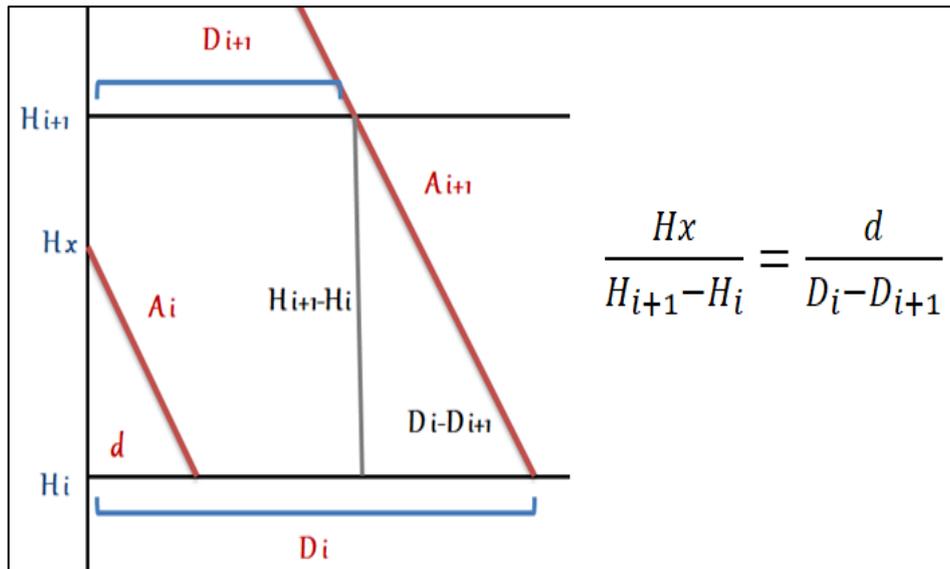


Figura 6: Esquema del método del paralelismo para la interpolación de la altura del término del anillo

Donde: H_i (m) = Altura de disco inferior, donde se ve por última vez el anillo A_i

H_{i+1} (m) = Altura de disco superior

H_x (m) = Altura del término del anillo A_i

d (mm) = Ancho del primer radio en el disco inferior del anillo A_i

D_i (mm) = Ancho del segundo radio en el disco inferior del anillo A_{i+1}

D_{i+1} (mm) = Ancho del primer radio en el disco superior del anillo A_{i+1}

Al completar el trazado del perfil del árbol con la determinación del punto de término de cada anillo, se lee la altura alcanzada por el árbol cada año. A partir de estos datos, se determinaron: edad, altura, diámetro, área transversal, factor de forma y volumen.

6.1.3. CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL Y VOLUMEN

Se siguió el método de Riaño y Lizarazo (2017) para calcular el volumen con las fórmulas smalian y cono truncado como se indica en la Figura 7.

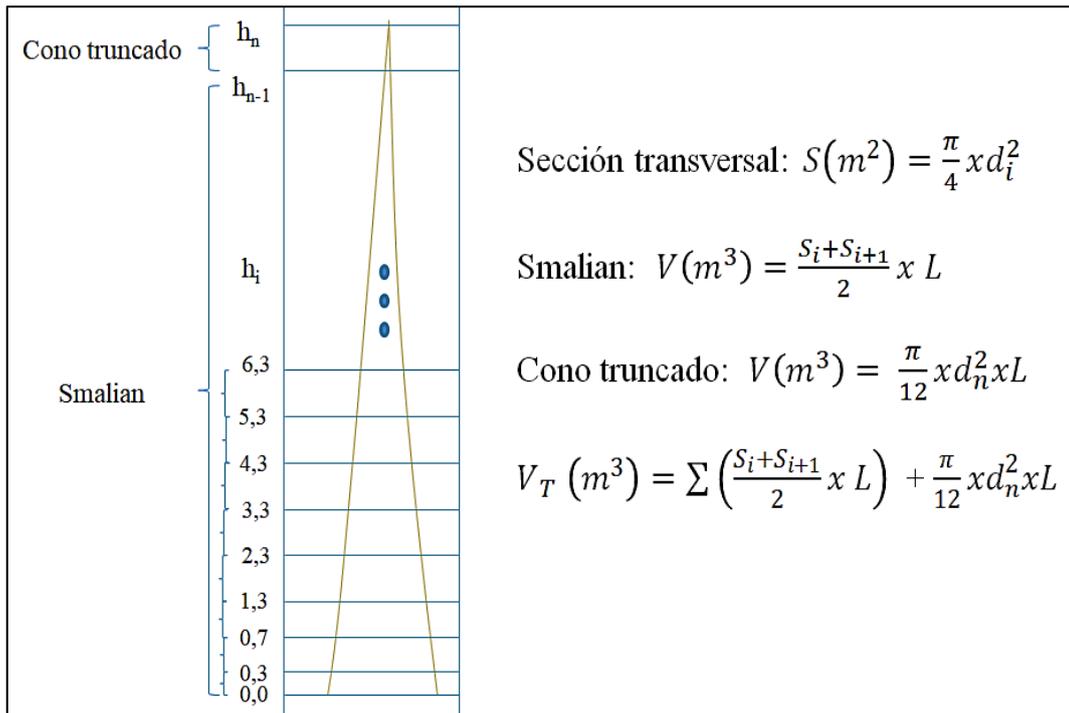


Figura 7: Cálculo de volumen parcial y total

Donde: d_i (m) = Diámetro a la i-ésima altura (h_i)

$$\pi = 3,14159$$

S_i (m^2) = Área transversal del disco inferior

S_{i+1} (m^2) = Área transversal del disco superior

L (m) = Diferencia entre la altura del disco superior y el disco inferior

d_n (m) = Diámetro a la altura del último disco (h_{n-1})

h_n (m) = Altura de término del anillo de crecimiento

V (m^3) = Volumen parcial

V_T (m^3) = Volumen total

6.1.4. DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE FORMA

Para caracterizar la forma, se determinaron la Ovalidad (O) y Excentricidad (E) con las siguientes fórmulas:

$$O = d / D$$

$$E = r / R$$

Donde: d (mm) = Diámetro menor
 D (mm) = Diámetro mayor
 r (mm) = Radio menor
 R (mm) = Radio mayor

El factor de forma (FF) se efectuó con la siguiente fórmula:

$$FF = V_r / V_{cil}$$

Donde: V_r (m³) = Volumen real del árbol
 V_{cil} (m³) = Volumen del cilindro con base igual al dap

6.1.5. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO

Se determinaron el ICA e IMA del dap (cm), altura (m) y volumen (m³) con las siguientes fórmulas:

$$IMA = Y_t / t$$

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)}$$

Donde: Y_t = Dimensión de la variable considerada a una determinada edad
 t = Edad

6.2. INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO RADIAL

6.2.1. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS Y DETERMINACIÓN DE LA EDAD

Se extrajeron discos de cuatro árboles a nivel del tocón, 0,7 m y 1,3 m de altura (Figura 8). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria la Molina, secadas a temperatura ambiente, y lijadas en el plano transversal con juego de lijas de granulometría ascendente de 80 a 600, hasta obtener una superficie homogénea y posible de visualizar los anillos de crecimiento. La edad fue determinada a partir del número de anillos anuales de crecimiento del disco al nivel del tocón.

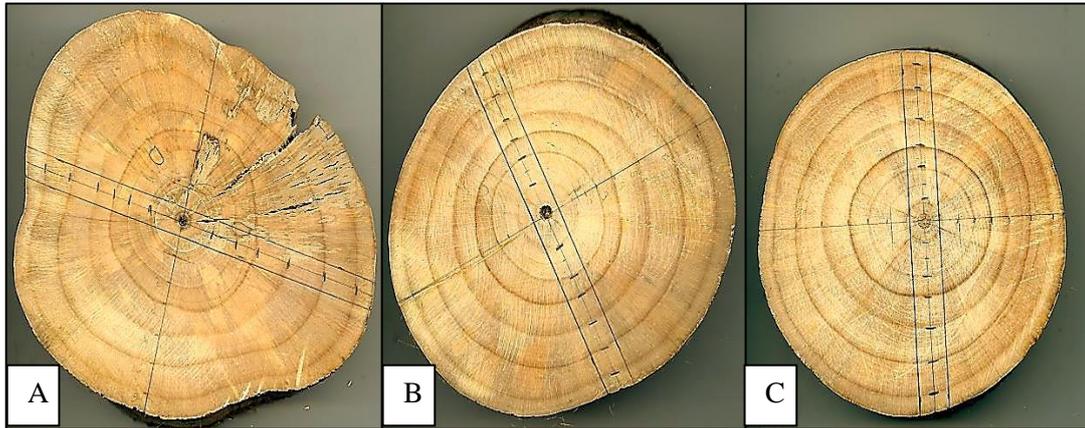


Figura 8: Discos a diferentes niveles basales: A – tocón, B – 0,7 m y C – 1,3 m

6.2.2. MEDICIÓN DE ANCHOS DE ANILLOS DE CRECIMIENTO

La identificación y delimitación de los anillos de crecimiento se realizaron con un microscopio estereoscópico, posteriormente se marcaron cuatro radios en cada disco y fueron digitalizados en un scanner EPSON a 1200 dpi. La medición del ancho de anillo fue realizada con el software de análisis de imágenes CooRecorder 7.8.1 para ser correlacionada con las variables climáticas (precipitación y temperatura), obtenidas del Senhami de Oxapampa, y determinar su influencia en el crecimiento radial (Figura 9).

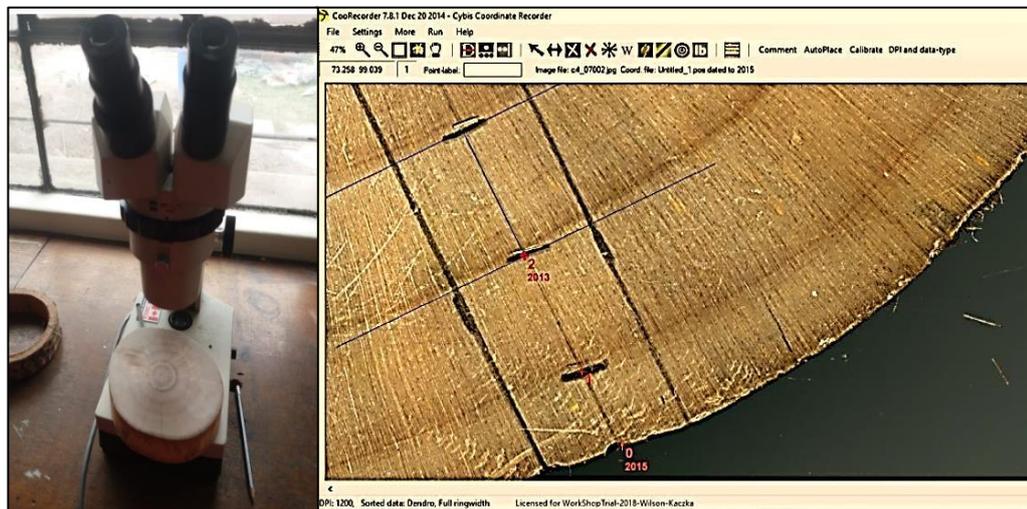


Figura 9: Identificación y medición de anillos anuales de crecimiento

6.2.3. DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO

Se planteó la hipótesis de encontrar el posible período de crecimiento a través de análisis de correlación, regresión lineal simple y múltiple para definir la posición longitudinal en

donde se presente mayor explicación porcentual de la variación anual del crecimiento radial en base a la variación anual de las variables climáticas, precipitación y temperatura. Se midieron anillos de crecimiento a 0 m; 0,7 m y 1,3 m de altura.

En base al climatograma realizado se plantearon dos posibles periodos de crecimiento: septiembre-agosto y octubre-septiembre. Adicionalmente se analizó el periodo anual convencional enero-diciembre para la comparación con los períodos antes mencionados.

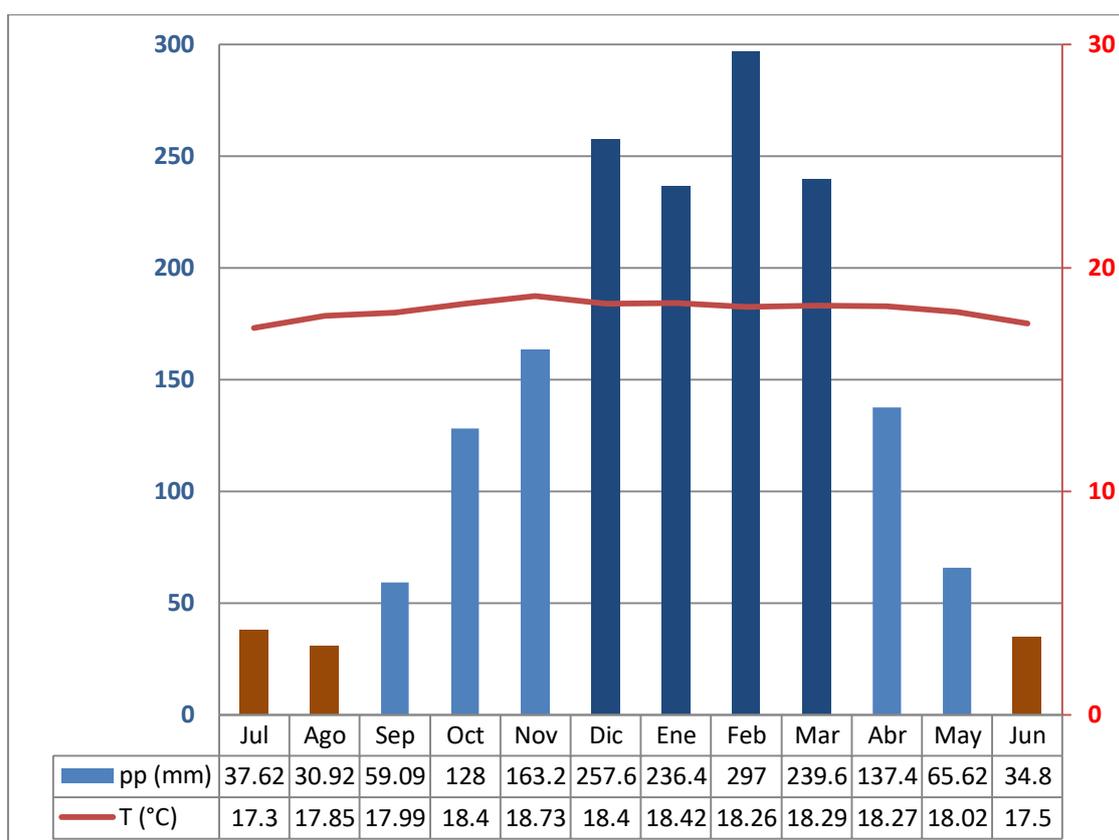


Figura 10: Climatograma de Oxapampa 2008-2016

En la Figura 10 se distinguen tres períodos: seco (barras marrones), húmedo (barras celestes) y muy húmedo (barras azules); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los meses más secos son junio, julio y agosto. En septiembre hay un ligero aumento en la precipitación y en octubre se observa el inicio del período húmedo, por lo que en la presente investigación se planteó la hipótesis de que la precipitación en los períodos de septiembre – agosto y octubre – septiembre explicarían mejor el crecimiento radial de *A. angustifolia* que el período convencional de enero – diciembre, debido a que el período de crecimiento natural comienza en un mes de un determinado año y culmina en

otro mes del año siguiente. Por otro lado, la temperatura media muestra valores prácticamente constantes, por lo que se esperaría que no sea una buena variable predictora, en comparación con la precipitación para la explicación del crecimiento radial.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

De acuerdo al diseño de trabajo se determinaron las medidas de tendencia central (media y mediana), estadístico de posición (cuartiles), dispersión (desviación estándar y coeficiente de variabilidad) y forma (histogramas de frecuencias y diagramas de caja) de cada variable anatómica y física evaluada por posición radial y longitudinal. Además, se analizó la presencia de *outliers* (valores atípicos), los cuales fueron clasificados como indica Ribeiro (2016), de acuerdo al siguiente intervalo:

$$[Q_1 - g \times (Q_3 - Q_1), Q_3 + g \times (Q_3 - Q_1)]$$

Donde:

Q_1 : Primer cuartil, indica que el 25% de los datos son menores o iguales a este valor.

Q_3 : Tercer cuartil, indica que el 75% de los datos son menores o iguales a este valor.

g : Valor para diferenciar *outlier* “moderado” y “severo”

Las opciones más comunes para g son 1,5 y 3,0 para indicar valores “moderados” y “severos” respectivamente.

7.2. CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS

Los factores fueron sometidos a pruebas de normalidad de los errores y homogeneidad de varianza, para cada una de las variables anatómicas (longitud y ancho de traqueidas, diámetro de lumen y espesor de pared) y físicas evaluadas (densidad básica y contracción volumétrica).

7.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se siguió la metodología de Vega (2010), y se planteó un diseño completamente al azar (DCA) para el análisis de varianza.

El análisis de varianza se utilizó para comparar promedios de los niveles de factor de las variables anatómicas y físicas que cumplieron con al menos uno de los supuestos antes mencionados, donde los factores fueron:

- Posición longitudinal, con cuatro niveles del factor: 0,3; 2,3; 4,3 y 6,3 m de altura
- Posición radial, con tres niveles del factor: Posición I (cercano a la médula), Posición II (intermedia) y Posición III (cercano a la corteza).

El análisis estadístico se realizó de acuerdo al flujograma presentado en la Figura 11.

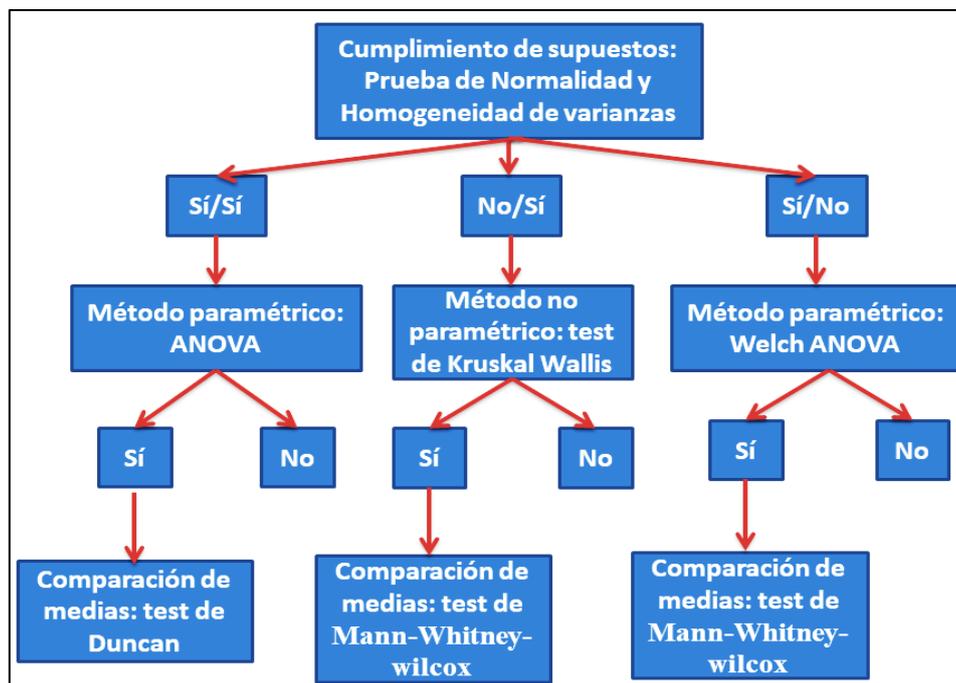


Figura 11: Flujograma del análisis estadístico

7.3.1. ANÁLISIS LONGITUDINAL

Se evaluó la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) en distintos niveles de altura (0,3; 2,3; 4,3 y 6,3 m) en las variables anatómicas y físicas.

El modelo aditivo lineal del experimento fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado en la j -ésima muestra del i -ésimo nivel de altura.

μ =Efecto promedio general del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel de altura.

ϵ_{ij} =Efecto del error experimental en la j-ésima muestra del i-ésimo nivel de altura.

7.3.2. ANÁLISIS A NIVEL RADIAL

Se evaluó la existencia de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tres posiciones radiales: posición I, II y II en las variables anatómicas y físicas.

El modelo aditivo lineal del experimento fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} =Valor observado en la j-ésima muestra del i-ésimo nivel radial.

μ =Efecto promedio general del experimento.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel radial.

ϵ_{ij} =Efecto del error experimental en la j-ésima muestra del i-ésimo nivel radial.

7.4. RELACIÓN ENTRE ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

7.4.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y VARIABLES ANATÓMICAS

Se determinó la relación entre las variables anatómicas y físicas por correlación lineal de Pearson con una significancia de 5% ($p < 0,05$) en base a la siguiente hipótesis:

$$H_0: r = 0 \text{ (no existe correlación)}$$

$$H_1: r \neq 0 \text{ (existe correlación)}$$

7.4.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Para las variables anatómicas que resultaron significativas en el análisis de correlación, se determinó un modelo de regresión lineal simple, definida a continuación:

$$Y = b_0 + b_1 X_1$$

Donde:

Y: Propiedad física evaluada

X₁: Variable anatómica evaluada

b₀: Intercepto

b₁: Coeficiente de regresión

Para verificar la significancia del modelo lineal, se realizó un Análisis de varianza con la siguiente hipótesis:

H₀: $\beta_1 = 0$ (No existe dependencia lineal de Y respecto a X)

H₁: $\beta_1 \neq 0$ (Existe dependencia lineal de Y respecto a X)

7.4.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Se determinó un modelo de regresión lineal múltiple para aquellas variables anatómicas que resultaron significativas en el análisis de correlación y regresión lineal simple, para dar mayor explicación de la variabilidad de las propiedades físicas a través de más dos o más variables anatómicas.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_nX_n$$

Donde:

Y: Propiedad física evaluada

X₁: Primera variable anatómica evaluada

X_n: n-ésima variable anatómica evaluada

b₀: Coeficiente de intersección

b₁, b₂: Coeficientes de regresión parcial

Para verificar la significancia del modelo lineal, se realizó un Análisis de varianza con la siguiente hipótesis:

H₀: $\beta_1 = \beta_2 = 0$

H₁: $\beta_j \neq 0$ Para al menos una j=1,2

7.5. DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO

7.5.1. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES CLIMÁTICAS Y CRECIMIENTO RADIAL

Se siguió la metodología de Suntaxi y Jiménez (2011), para dar explicación a la variación del crecimiento radial en base a la variación de las variables climáticas, con los valores promedios de estos, se realizaron análisis de correlación, regresión lineal simple y múltiple.

Se determinó la influencia climática mediante análisis de correlación entre series cronológicas del crecimiento radial y variables climáticas (precipitación y temperatura) (Domínguez, 2014) por correlación lineal de Pearson con una significancia de 5% ($p < 0,05$) en base a la siguiente hipótesis:

$$H_0: r = 0 \text{ (no existe correlación)}$$

$$H_1: r \neq 0 \text{ (existe correlación)}$$

El crecimiento radial anual fue analizado en tres posiciones longitudinales: a nivel tocón; 0,7 m y 1,3 m de altura, los cuales se contrastaron con la variación de precipitación y temperatura en tres períodos: Enero – Diciembre, Septiembre – Agosto y Octubre – Septiembre.

7.5.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Para las posiciones longitudinales que resultaron significativas en el análisis de correlación, se determinó un modelo de regresión lineal simple, definida a continuación:

$$Y = b_0 + b_1 X_1$$

Donde:

Y: Crecimiento radial anual

X_1 : Precipitación anual acumulada

b_0 : Intercepto

b_1 : Coeficiente de regresión

Para verificar la significancia del modelo lineal, se realizó un análisis de varianza con la siguiente hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ (No existe dependencia lineal de Y respecto a X)}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \text{ (Existe dependencia lineal de Y respecto a X)}$$

7.5.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Se determinó un modelo de regresión lineal múltiple para las posiciones que resultaron significativas en el análisis de correlación y regresión lineal simple para confirmar el uso de la temperatura como variable predictora en conjunto con la precipitación.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$$

Donde:

Y: Crecimiento radial anual

X_1 : Precipitación anual acumulada

X_2 : Temperatura anual promedio

b_0 : Coeficiente de intersección

b_1, b_2 : Coeficientes de regresión parcial

Para verificar la significancia del modelo lineal, se realizó un Análisis de varianza con la siguiente hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ Para al menos una } j=1,2$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ANATOMÍA

1.1. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

Los cuatro árboles de *A. angustifolia* de seis años presentaron transversalmente, anillos bien diferenciados por filas de traqueidas (Figura 12) con paredes levemente más gruesas y más pequeñas en sentido radial, con una transición gradual entre la madera temprana y tardía, las que tuvieron secciones tendientes a hexagonal y rectangular, respectivamente (Figura 13). En sección radial (Figura 14), presenta campo de entrecruzamiento con puntos araucarioides, en disposición comúnmente irregular, en tres filas horizontales y dos verticales, punteaduras areroladas hexagonales uni y bi-seriadas con disposición alterna (Figura 15) y en sección tangencial, radios uniseriados de 4 a 17 células de altura (Figura 16).

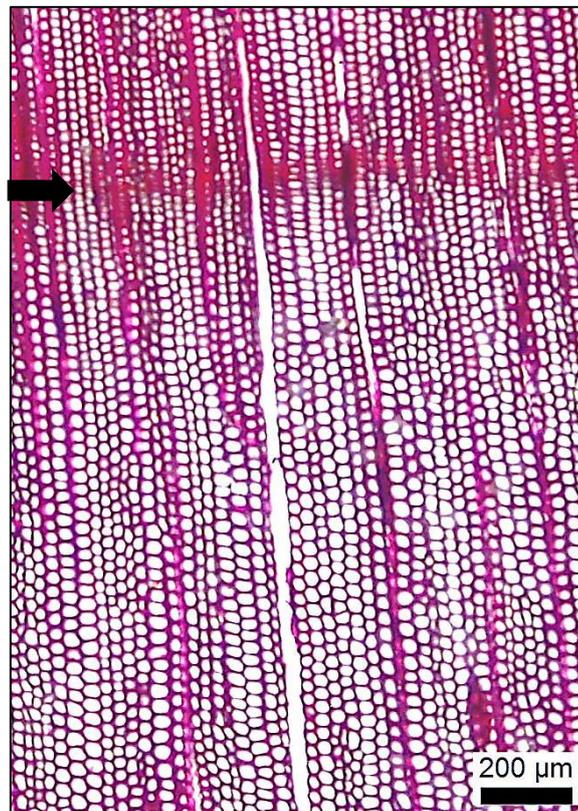


Figura 12: Sección transversal de *A. angustifolia* y distinción de anillo de crecimiento

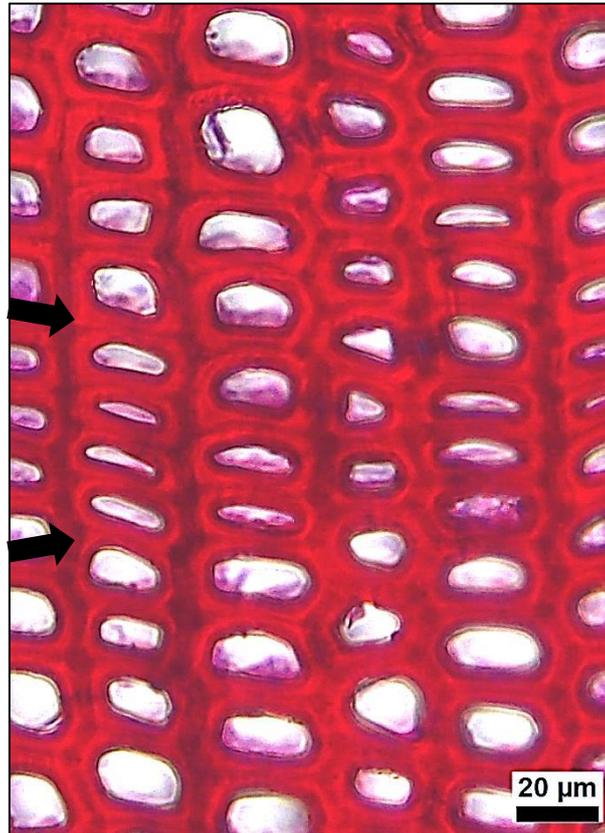


Figura 13: Límite del anillo de crecimiento de *A. angustifolia* y forma de células

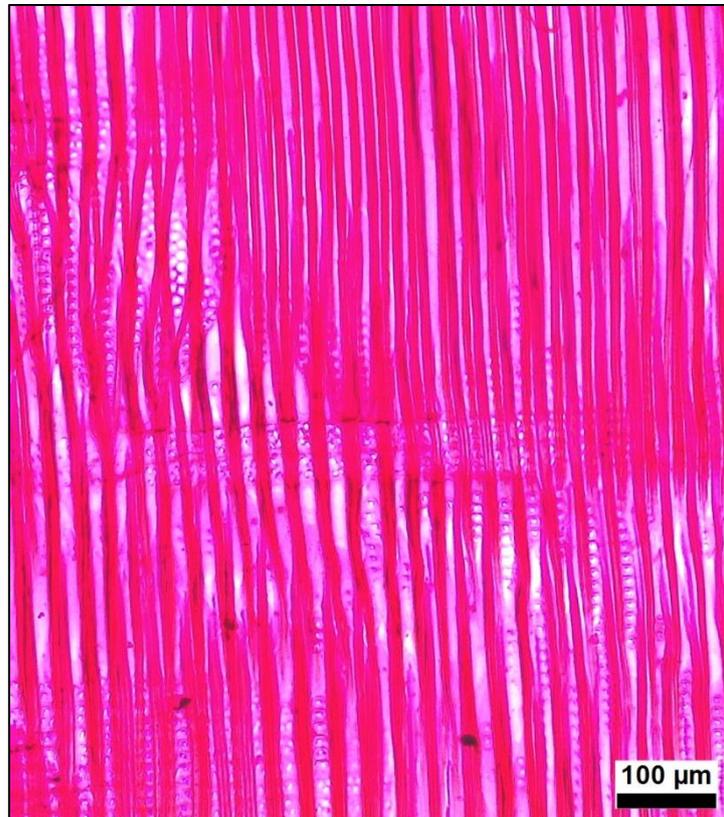


Figura 14: Sección radial de *A. angustifolia*

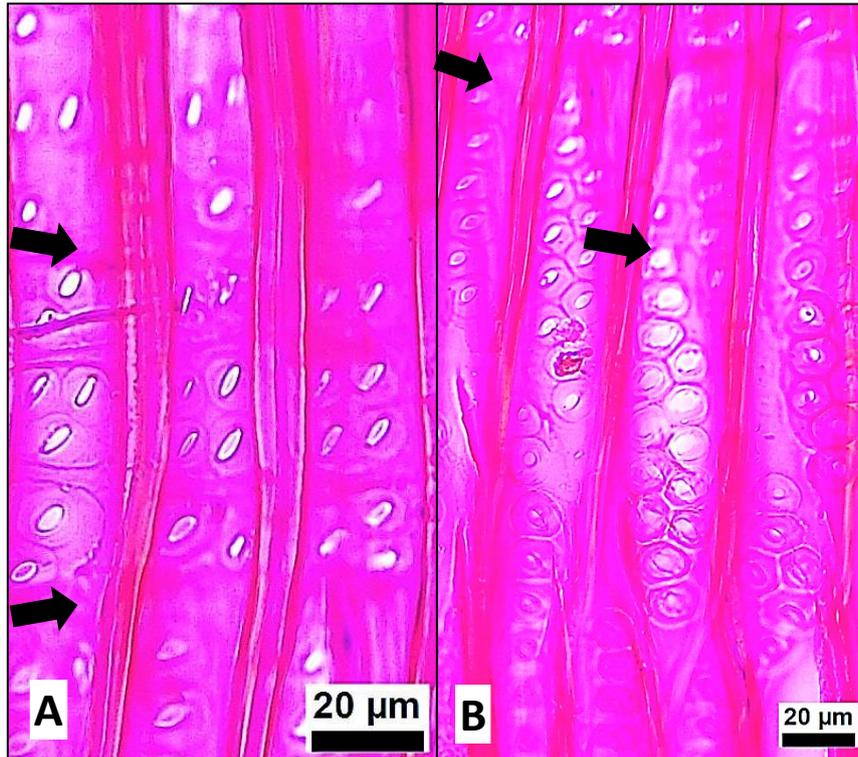


Figura 15: Campo de entrecruzamiento de *A. angustifolia*. A– Punteaduras araucarioides. B – Punteaduras areoladas alternas en 1 y 2 series

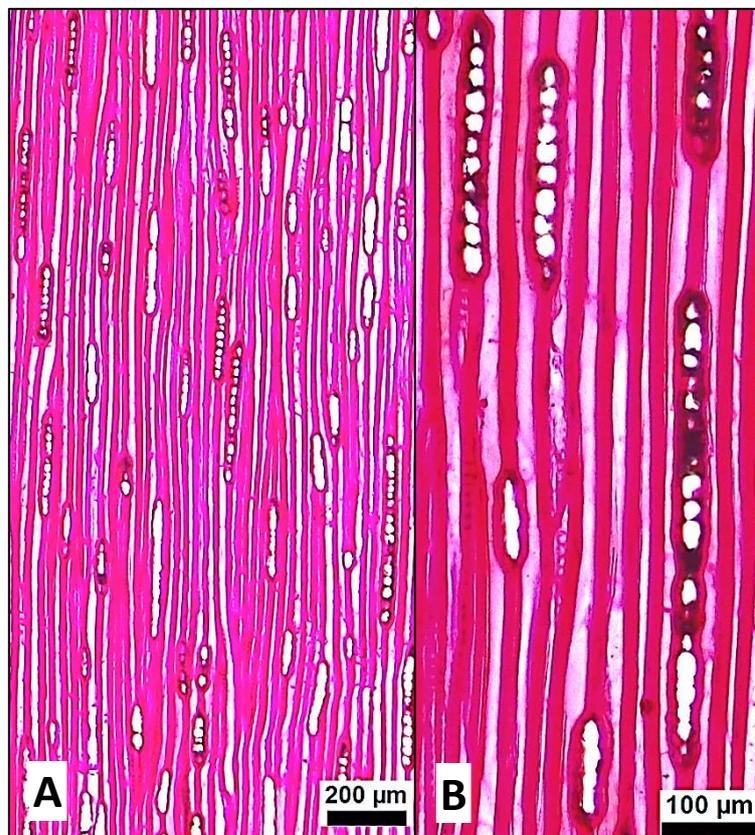


Figura 16: Sección tangencial de *A. angustifolia*. A – Conjunto de radios uniseriados. B – Radio uniseriado extenso

En la Tabla 2 se muestran las estadísticas globales de las dimensiones anatómicas y en la Tabla 3 se comparan las dimensiones y se clasifica la longitud de traqueidas. El valor promedio se clasificó como mediana (entre 3-5 mm) según la norma IAWA (2004). Sin embargo, Wagenführ (1989) citado por IAWA (2004) la clasifica como larga (>5 mm), este menor valor promedio se debería a la edad juvenil de los individuos evaluados, ya que como indica Diaz-Vaz (1984) la madera juvenil se caracteriza por presentar traqueidas más cortas y paredes celulares más finas.

Tabla 2: Caracterización global anatómica

Dimensiones de traqueidas	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Longitud (mm)	2,073	6,352	4,089	0,839
Ancho (μm)	24,660	65,392	42,115	7,277
Diámetro de lumen (μm)	17,091	56,162	34,400	7,258
Espesor de pared (μm)	2,014	6,206	3,857	0,769

Tabla 3: Comparación de dimensiones anatómicas

Dimensiones de traqueidas	Autor	IAWA (2004)	Timofiecsyk y Mattos (2002)	Oliveira (2007)	Siegloch y Marchiori (2015)
Longitud (mm) / clasificación IAWA	4,089 / mediana	7,200 / larga	3,490 / mediana	3,874 / mediana	5,181 / larga
Ancho (μm)	42,115	-	-	39	53
Diámetro de lumen (μm)	34,400	-	-	-	38
Espesor de pared (μm)	3,857	-	6,23	-	7,5

En la literatura se reportan valores variados, algunos con promedios menores que los determinados en la presente investigación en longitud y ancho de traqueidas, como lo indicado por Timofiecsyk y Mattos (2002) y Oliveira (2007), así como longitudes, anchos y espesores de pared promedios mayores, como lo mencionado por Siegloch y Marchiori (2015). Además de la madera juvenil y adulta, existen otros factores que influyen las dimensiones de los elementos xilémicos, como la variación radial y longitudinal, por lo que es importante definir en qué posición se realizan los estudios anatómicos.

1.2. VARIACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE TRAQUEIDAS

1.2.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

Con el propósito de analizar la variabilidad de la madera de *A. angustifolia*, en la Tabla 4 se muestran las estadísticas descriptivas de las dimensiones de traqueidas de la muestra en cada nivel de factor propuesto por posición radial y longitudinal. Se observa que los valores promedios de longitud y espesor de pared a nivel radial son mayores en la posición III (cercano a la corteza), mientras que en ancho de traqueidas y diámetro de lumen en la posición II (intermedia). Por otro lado, a nivel longitudinal hubieron mayores valores promedios en longitud y espesor de pared a una altura de 2,3 y 0,3 m, respectivamente, mientras que los promedios de ancho de traqueidas y diámetro de lumen fueron mayores a una altura de 4,3 m. Los cuartiles 1 (Q_1) y 2 (Q_2) muestran los valores posicionales más importantes, ya que indican que el 25 y 75% de los datos son menores o iguales a estos, respectivamente. Las medianas son levemente diferentes de las medias, lo que podría indicar preliminarmente que se trate de distribuciones asimétricas. Los coeficientes de variabilidad (%) permiten comparar la dispersión de los niveles de factor evaluados, así se observan valores entre 12 y 25 %, los cuales se encuentran dentro de lo reportado por Siegloch y Marchiori (2015). Finalmente, el número de repeticiones (n) de los ensayos por posición radial y longitudinal son diferentes (experimento desequilibrado), esto debido al ahusamiento natural de los árboles.

Para visualizar mejor la forma y distribución de los datos se muestran los histogramas de frecuencia y diagramas de cajas de las distintas posiciones radiales y longitudinales en las Figuras 17 y 18, respectivamente. En el primero se observa distribuciones más simétricas que en el segundo, en ambos factores hay presencias de valores atípicos moderados, bigotes y mitades de cajas superiores e inferiores similares. En la representación gráfica de los datos se observa, preliminarmente, que las muestras no se distribuyen de forma normal, lo cual dificulta el uso del test ANOVA. Esto se comprobó con las pruebas estadísticas correspondientes.

Tabla 4: Estadísticas descriptivas de dimensiones de traqueidas

Variable	Nivel de factor	Q₁	Mediana	Q₃	Media	CV (%)	n
Longitud de traqueidas (mm)	Posición radial						
	I	3,020	3,332	3,632	3,352	13,49	400
	II	4,034	4,385	4,832	4,426	13,94	400
	III	4,475	4,855	5,311	4,892	12,77	200
	Posición longitudinal						
	0,3	3,416	4,132	4,627	4,088	20,44	300
	2,3	3,820	4,373	4,963	4,369	18,80	300
	4,3	3,371	3,862	4,515	3,974	19,29	200
	6,3	3,207	3,613	4,261	3,784	21,40	200
	Espesor de pared (µm)	Posición radial					
I		3,126	3,587	4,134	3,649	19,29	400
II		3,379	3,798	4,385	3,895	19,02	400
III		3,649	4,153	4,780	4,199	19,39	200
Posición longitudinal							
0,3		3,565	4,004	4,635	4,075	20,34	300
2,3		3,327	3,778	4,346	3,864	18,69	300
4,3		3,260	3,686	4,185	3,727	19,02	200
6,3		3,073	3,555	4,138	3,651	19,67	200
Diámetro de lumen (µm)		Posición radial					
	I	28,300	33,493	39,456	34,260	23,44	400
	II	30,563	34,819	39,657	35,386	19,09	400
	III	28,172	32,350	36,928	32,708	19,07	200
	Posición longitudinal						
	0,3	25,906	29,211	33,387	29,914	18,82	300
	2,3	29,800	34,214	39,169	34,591	19,75	300
	4,3	33,342	37,381	43,465	38,381	18,80	200
	6,3	32,114	35,974	41,478	36,860	17,65	200
	Ancho de traqueidas (µm)	Posición radial					
I		35,367	40,662	47,170	41,558	19,31	400
II		38,547	42,568	47,054	43,175	15,67	400
III		36,617	41,005	45,835	41,106	15,58	200
Posición longitudinal							
0,3		33,633	37,615	42,115	38,064	15,45	300
2,3		37,182	41,862	47,068	42,320	16,35	300
4,3		40,267	44,782	51,050	45,835	16,20	200
6,3		39,407	43,510	48,915	44,161	14,99	200

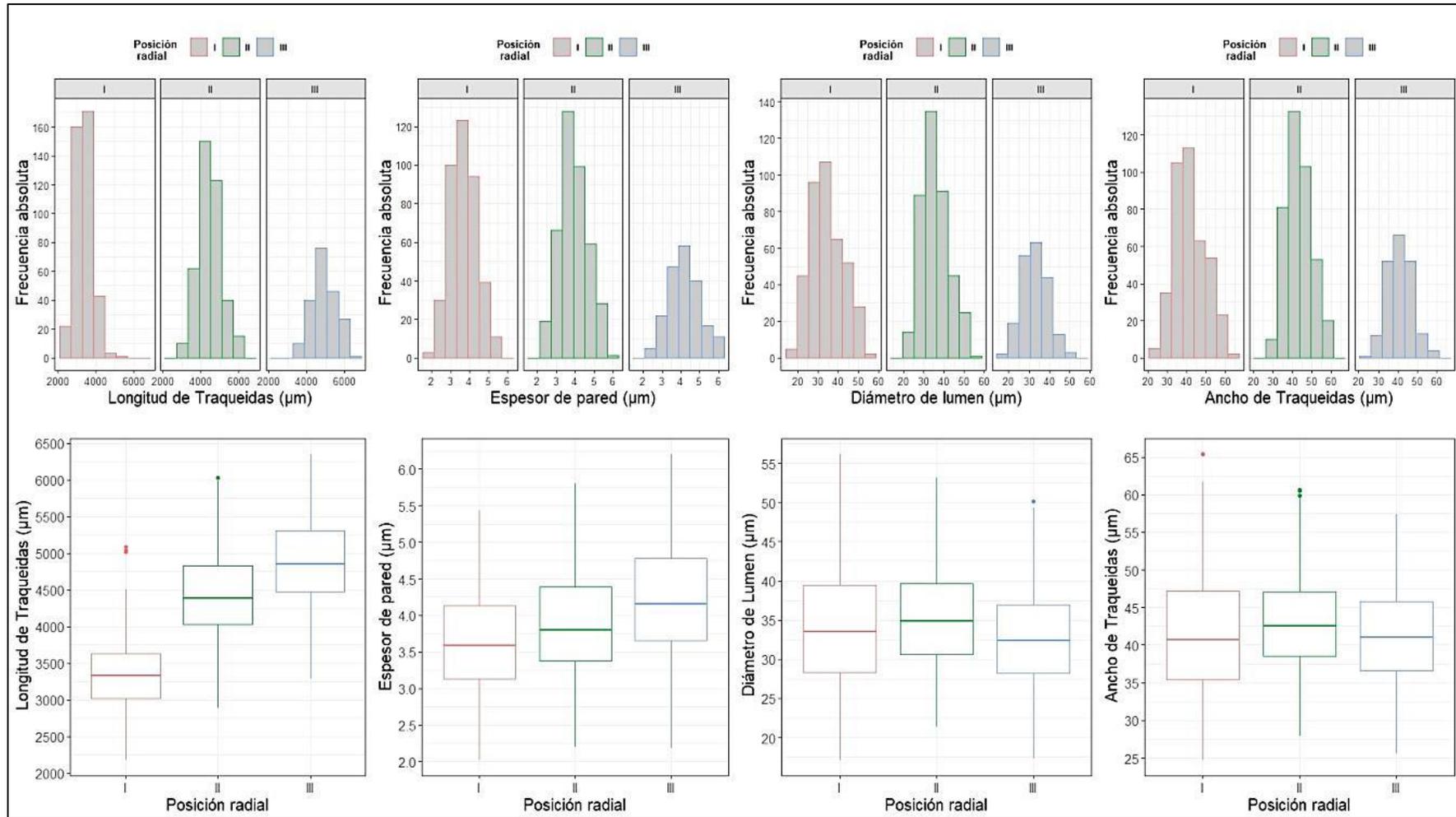


Figura 17: Histograma de frecuencias y diagrama de cajas de las dimensiones anatómicas por posición radial

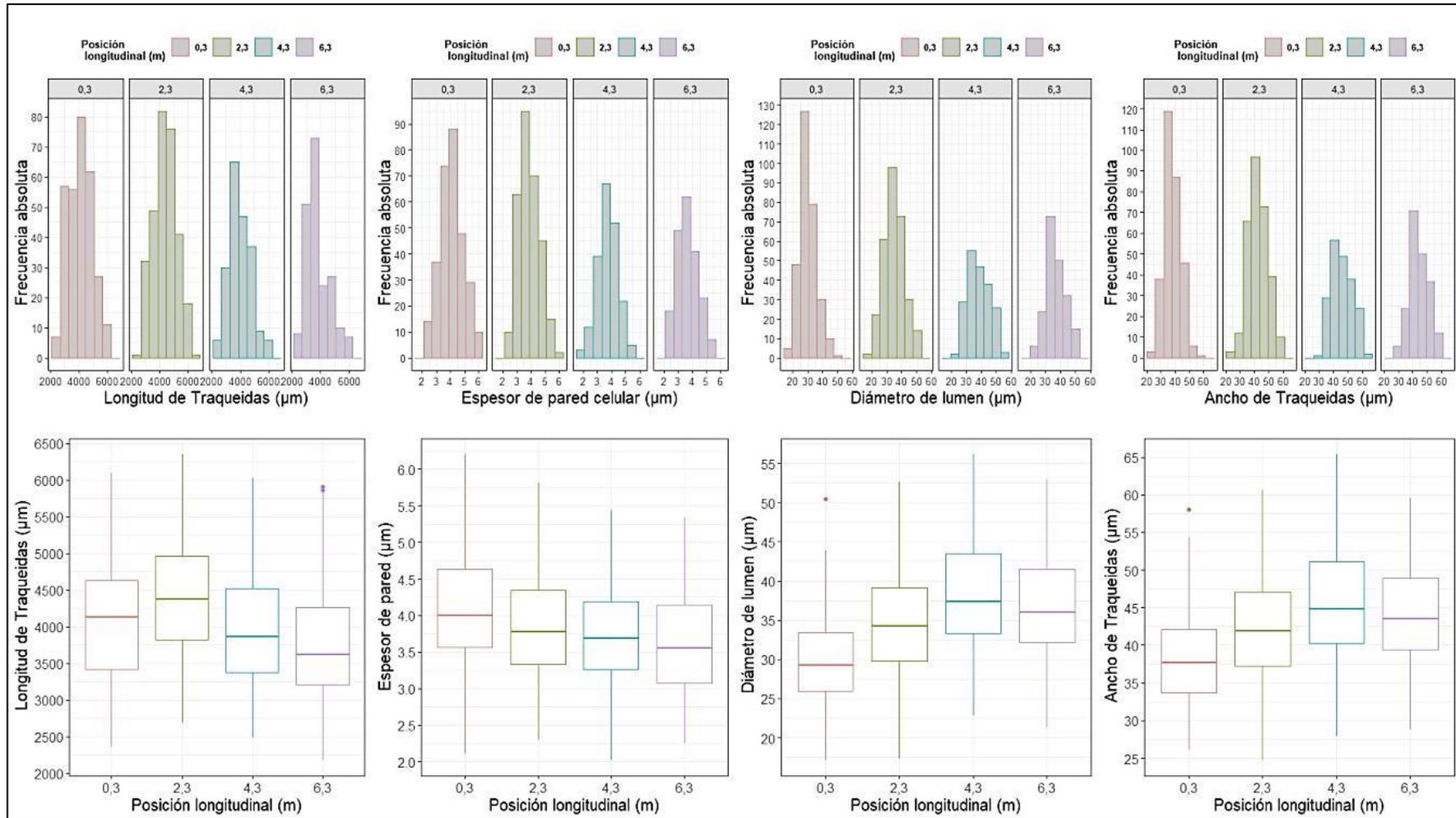


Figura 18: Histograma de frecuencias y diagrama de cajas de las dimensiones anatómicas por posición longitudinal

1.3. COMPARACIÓN POR NIVEL DE FACTOR

Previo a la comparación por nivel de factor, se realizaron las pruebas de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas (ver Anexo 1B), en donde el ancho de traqueidas y diámetro de lumen no cumplieron con los supuestos por lo que no fueron tomados en consideración para los siguientes análisis. Luego, para determinar si existe diferencias significativas en la longitud de traqueidas entre las posiciones radiales y longitudinales, se realizaron las pruebas Welch anova y Kruskal – Wallis (ver Anexo 1C). Estas resultaron significativas ($p < 0,05$), por lo que se comprueba que existe evidencia estadística para afirmar que en las variables longitud de traqueidas y espesor de pared al menos una posición radial y longitudinal es diferente a las demás.

La variación radial de longitud de traqueidas y espesor de pared fue acentuada en las tres posiciones consideradas, y tiende a aumentar en dirección médula-corteza. Estas diferencias resultaron significativas, considerándose mayor la posición radial III, lo que concuerda con lo indicado por Paula y Alves (1997) citado por Mattos *et al.* (2006), quienes evaluaron árboles adultos, ya que el mayor promedio encontrado de longitud fue cerca de la corteza (5,200 mm), valor mayor al encontrado en los individuos juveniles evaluados en esta investigación (4,892 mm). Por otro lado, en el nivel longitudinal se encontraron diferencias significativas, considerándose mayor a una altura de 0,3 m y 2,3 m para el espesor de pared y longitud de traqueidas, respectivamente. Estos resultados fueron similares a lo obtenido por Chumbimune (2017) que estudió a la especie conífera *Retrophyllum rospigliosii* en la región Pasco, donde el espesor de pared fue significativamente mayor en el nivel basal (basal = 4,18; medio = 4,06 y apical = 3,80), mientras que la longitud en el nivel medio fue ligeramente mayor al apical y basal (basal = 4 910,0; medio = 5 024,4 y apical = 4 577,2).

En las Figuras 19 y 20, se observan la variación radial y longitudinal de las dimensiones de traqueidas, respectivamente y en la Tabla 5 se muestran las diferencias significativas y agrupaciones por nivel de factor.

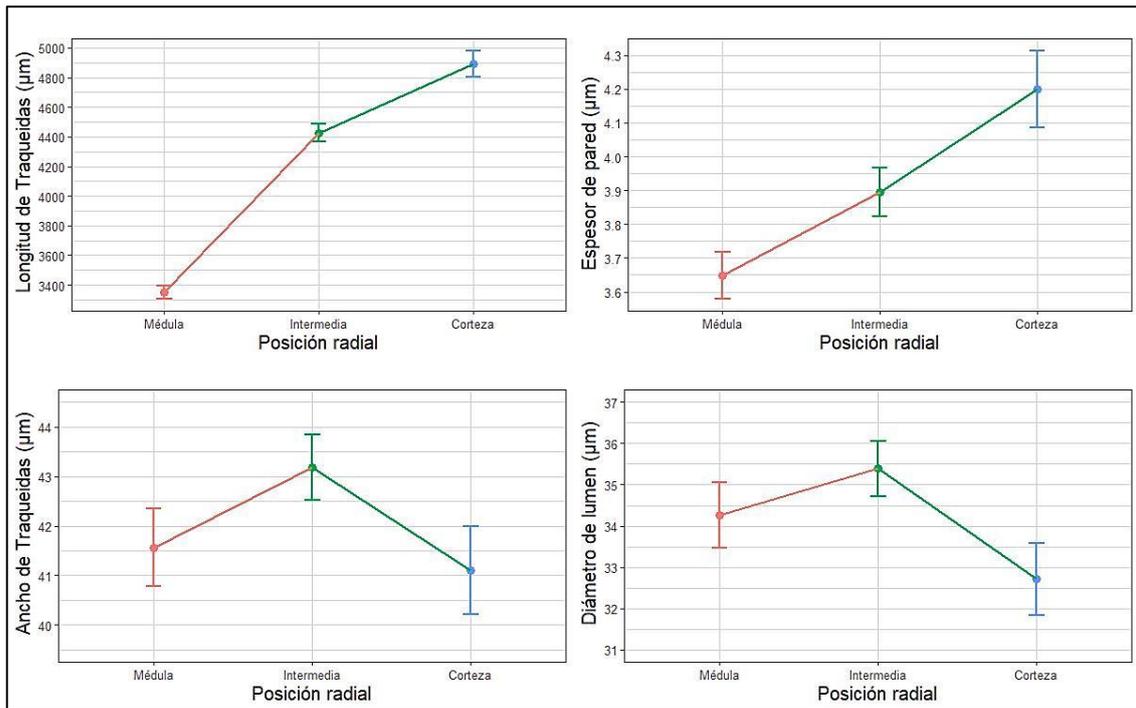


Figura 19: Variación media de las Dimensiones anatómicas a nivel radial

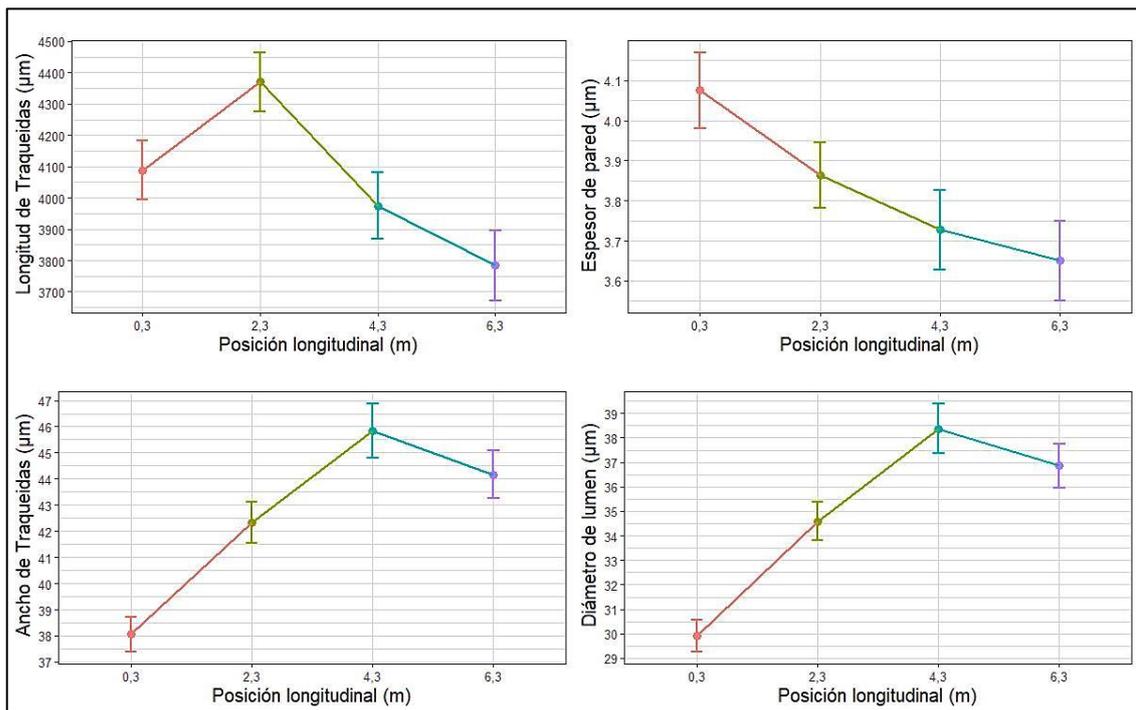


Figura 20: Variación media de las dimensiones anatómicas a nivel longitudinal

Tabla 5: Comparación de medias de las dimensiones anatómicas a nivel radial y longitudinal de *A. angustifolia*

Variable	Factor	Niveles de factor	Media
Longitud de traqueidas (mm)	Posición radial	I	3,351 c
		II	4,425 b
		III	4,892 a
	Posición longitudinal (m)	0,3	4,088 b
		2,3	4,369 a
		4,3	3,974 b
Espesor de pared (μm)	Posición radial	I	3,649 c
		II	3,895 b
		III	4,199 a
	Posición longitudinal (m)	0,3	4,075 a
		2,3	3,864 b
		4,3	3,727 bc
		6,3	3,651 c

Valores promedio en un mismo factor, seguidos de letras diferentes, presentan diferencias significativas comparadas por la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon al 95% de confianza.

2. PROPIEDADES FÍSICAS

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

El material para la determinación de las propiedades físicas evaluadas provino de diferentes posiciones radiales y longitudinales. En la Figura 21 se ven discos de *A. angustifolia* de 6 años a diferentes alturas, en donde se aprecia la disminución del número de anillos de crecimiento y proporción de madera tardía en posiciones longitudinales mayores provocando que las propiedades físicas a nivel radial y longitudinal sean distintas.

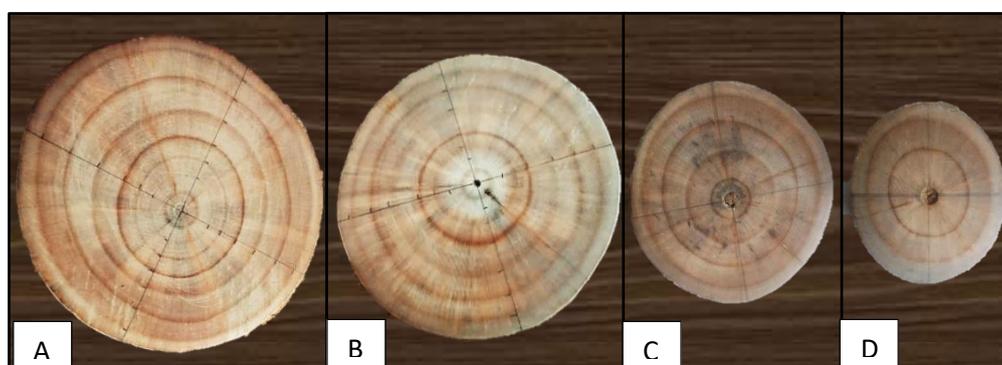


Figura 21: Sección transversal de la madera de *A. angustifolia* a diferentes alturas. A - 0,3 m. B - 2,3 m. C - 4,3 m. D - 6,3m

En la Tabla 6 se muestran las estadísticas globales de las propiedades físicas y en la Tabla 7 se comparan y clasifican. Los valores promedios de densidad básica y contracción volumétrica se clasificaron como baja (entre 0,3-0,4 g/cm³ y 7-10 %, respectivamente) según Aróstegui (1982).

Tabla 6: Caracterización global de las propiedades físicas

Propiedades físicas	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Densidad básica (g/cm ³)	0,314	0,507	0,382	0,048
Contracción volumétrica (%)	7,353	13,592	9,882	1,244

Tabla 7: Comparación de propiedades físicas

Variable	Autor	Zaque <i>et al.</i> (2018)		Rolim y Ferreyra (1974)		Timofiecsyk y Mattos (2002)	
Edad (años)	6	23	30	2	6	15	16
Densidad básica (g/cm ³)/ clasificación	0,382/ baja	0,389/ baja	0,451/ media	0,363/ baja	0,409/ media	0,521/ media	0,403/ media
Contracción volumétrica (%)	9,882	-	-	-	-	-	9,9

En la literatura se reportan valores promedios similares en densidad básica como lo obtenido por Zaque *et al.* (2018) en árboles de 23 años y en contracción volumétrica obtenido por Timofiecsyk y Mattos (2002) en árboles de 16 años y otros diferentes dependiendo de la edad (Rolim y Ferreyra, 1974). Además de la edad, existen otros factores que influyen las propiedades físicas, como la variación radial y longitudinal, por lo que es importante definir en qué posición se realizan los ensayos.

2.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO

Con el propósito de analizar la variabilidad de la madera de *A. angustifolia*, en la Tabla 8 se muestran las estadísticas descriptivas de las propiedades físicas de la muestra en cada nivel de factor propuesto por posición radial y longitudinal. Se observa que los valores promedios de la densidad básica y contracción volumétrica en la posición radial III (cerca a la corteza) y la posición longitudinal 0,3 m son los mayores. Los cuartiles 1 (Q₁) y 2 (Q₂) muestran los valores posicionales más importantes, ya que indican que el 25 y 75% de los datos son menores o iguales a estos, respectivamente. Las medianas son levemente diferentes de las medias, lo que podría indicar preliminarmente que se trate de

distribuciones asimétricas. Los coeficientes de variabilidad (CV%) permiten comparar la dispersión de los niveles de factor evaluados, así se observa, en densidad básica y contracción volumétrica, que a nivel longitudinal se encontró mayor variabilidad en alturas de 0,3 y 2,3 m respectivamente, mientras que a nivel radial se encontró en la posición II. Finalmente, el número de repeticiones (n) de los ensayos por posición radial y longitudinal son diferentes (experimento desequilibrado), esto debido al ahusamiento natural de los árboles.

Para visualizar mejor la forma y distribución de los datos en la Figura 22 se muestran los histogramas de frecuencia y diagramas de cajas de las distintas posiciones radiales y longitudinales. En el primero se observa, en algunos casos, asimetría cercana a cero y en el segundo un valor atípico moderado, bigotes y mitades de cajas superiores e inferiores similares. En la representación gráfica de los datos se observa, preliminarmente, que las muestras se distribuyen de forma normal, lo cual sugiere el uso del test anova. Esto se comprobó con las pruebas estadísticas correspondientes.

Tabla 8: Estadísticas descriptivas de densidad básica y contracción volumétrica a nivel radial y longitudinal

Variable	Nivel de factor	Q₁	Mediana	Q₃	Media	CV (%)	n
Densidad básica (g/cm³)	Posición radial						
	I	0,334	0,351	0,365	0,355	7,775	32
	II	0,352	0,373	0,414	0,386	12,352	32
	III	0,411	0,434	0,453	0,431	9,002	16
	Posición longitudinal (m)						
	0,3	0,402	0,429	0,459	0,427	10,684	24
	2,3	0,360	0,378	0,414	0,383	9,477	24
	4,3	0,334	0,344	0,358	0,348	6,026	16
	6,3	0,333	0,351	0,365	0,348	6,164	16
	Contracción volumétrica (%)	Posición radial					
I		8,872	9,196	9,641	9,280	8,665	32
II		9,166	9,982	11,016	10,006	12,481	32
III		10,039	10,834	11,699	10,836	12,423	16
Posición longitudinal (m)							
0,3		10,037	10,779	11,473	10,734	11,478	24
2,3		9,130	9,530	10,692	9,764	12,162	24
4,3		8,549	9,584	10,519	9,529	11,957	16
6,3		8,868	9,130	9,659	9,133	7,274	16

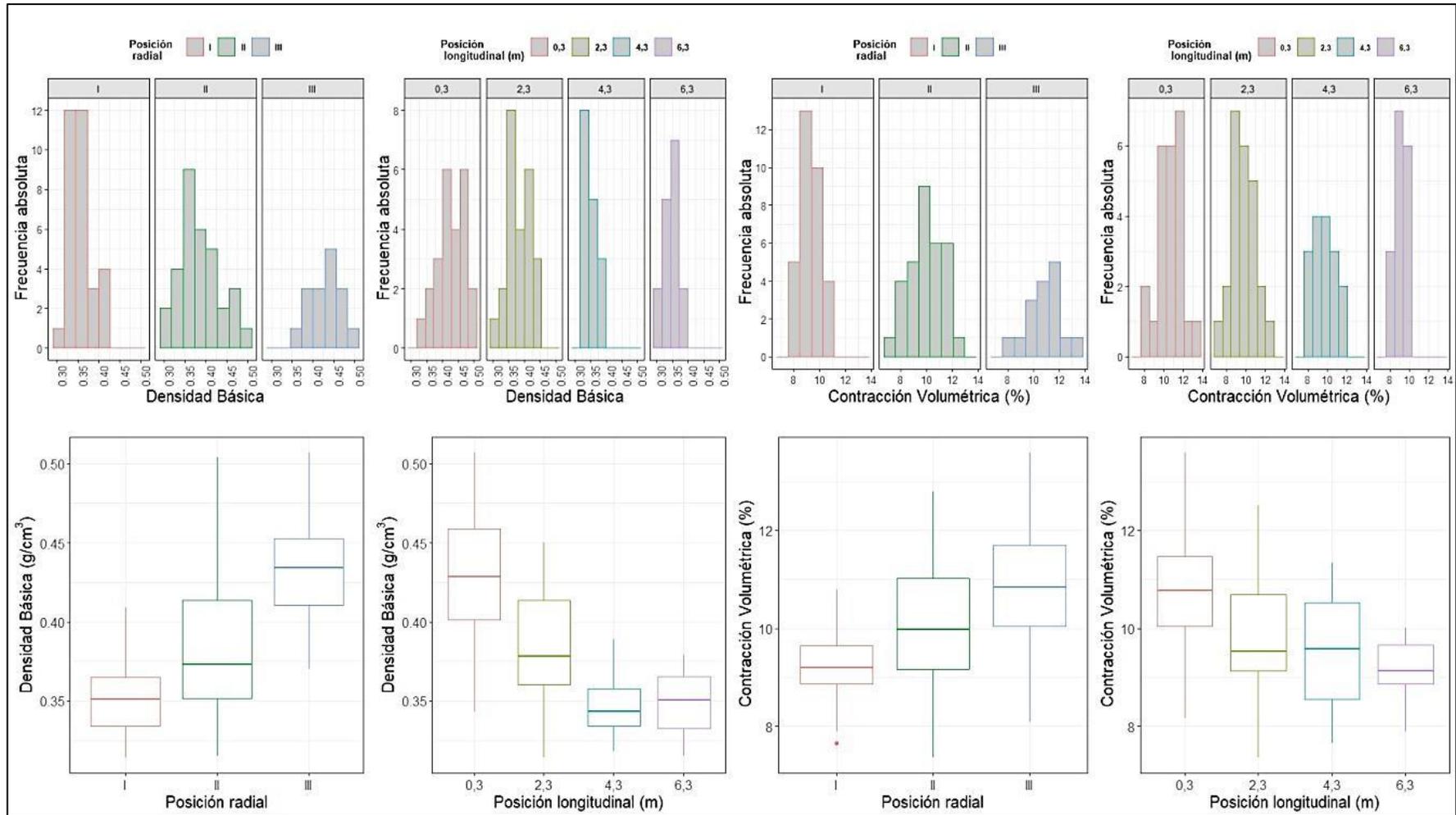


Figura 22: Histogramas de frecuencia y diagramas de caja de densidad básica y contracción volumétrica por posición radial y longitudinal de la madera de *A. angustifolia*

2.3. COMPARACIÓN POR NIVEL DE FACTOR

Previo a la comparación por nivel de factor, se realizaron las pruebas de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas (ver Anexo 2B). Luego, para determinar si existe diferencias significativas en la longitud de traqueidas entre las posiciones radiales y longitudinales, se realizaron las pruebas anova y Welch anova (ver Anexo 2C). Estas resultaron significativas ($p < 0,05$), por lo que se comprueba que existe evidencia estadística para afirmar que en las variables densidad básica y contracción volumétrica al menos una posición radial y longitudinal es diferente a las demás.

La variación radial de la densidad básica y contracción volumétrica fue acentuada en las tres posiciones consideradas, y tiende a aumentar en dirección médula-corteza. Estas diferencias resultaron significativas, considerándose mayor a la posición radial III. Por otro lado, en el nivel longitudinal se muestran mayores valores a una altura de 0,3 m, luego disminuyen hasta los 6,3 m. En individuos de 23 a 30 años, Zaque *et al.* (2018) comprobaron que la densidad básica de la madera de *A. angustifolia* a nivel radial, fue mayor en la posición más externa de los árboles (externa = $0,457 \text{ g/cm}^3$; intermedia = $0,410 \text{ g/cm}^3$ y médula = $0,374 \text{ g/cm}^3$) y a nivel longitudinal en la base, independientemente de la edad (dap = $0,454 \text{ g/cm}^3$ y a 75% = $0,365 \text{ g/cm}^3$).

La variación radial es explicada por Melo *et al.* (2010), ya que demostraron que la densidad básica, el número de anillos por centímetro lineal y el porcentaje de madera tardía incrementaban en dirección médula – corteza, mientras que, como se vio en la caracterización de la muestra, a mayor altura el número de anillos de crecimiento y madera tardía disminuyen. Además, Rolim y Ferreyra (1974) encontraron que la densidad de los anillos de crecimientos tiende a incrementarse con la edad (año 1= $0,36 \text{ g/cm}^3$, año 15= $0,52 \text{ g/cm}^3$), mostrándose menos pronunciado a partir del noveno año ($0,46 \text{ g/cm}^3$), por lo que se considera a este el inicio de la madera adulta. Rosa *et al.* (2013), añade parámetros biométricos, ya que hubo diferencia significativa entre las densidades básicas de la madera con anillos iguales o mayores que cinco mm ($0,40 \text{ g/cm}^3$) y la madera con anillos menores que cinco mm ($0,48 \text{ g/cm}^3$) correspondiente a la madera juvenil y madura, respectivamente.

En la Figura 23 se observa la variación radial y longitudinal de las propiedades físicas evaluadas y en la Tabla 9: Comparación de medias a nivel radial y longitudinal de la densidad básica (g/cm^3) y contracción volumétrica (%) de la madera de *A. angustifolia* Tabla 9 se muestran las diferencias significativas y agrupaciones por nivel de factor.

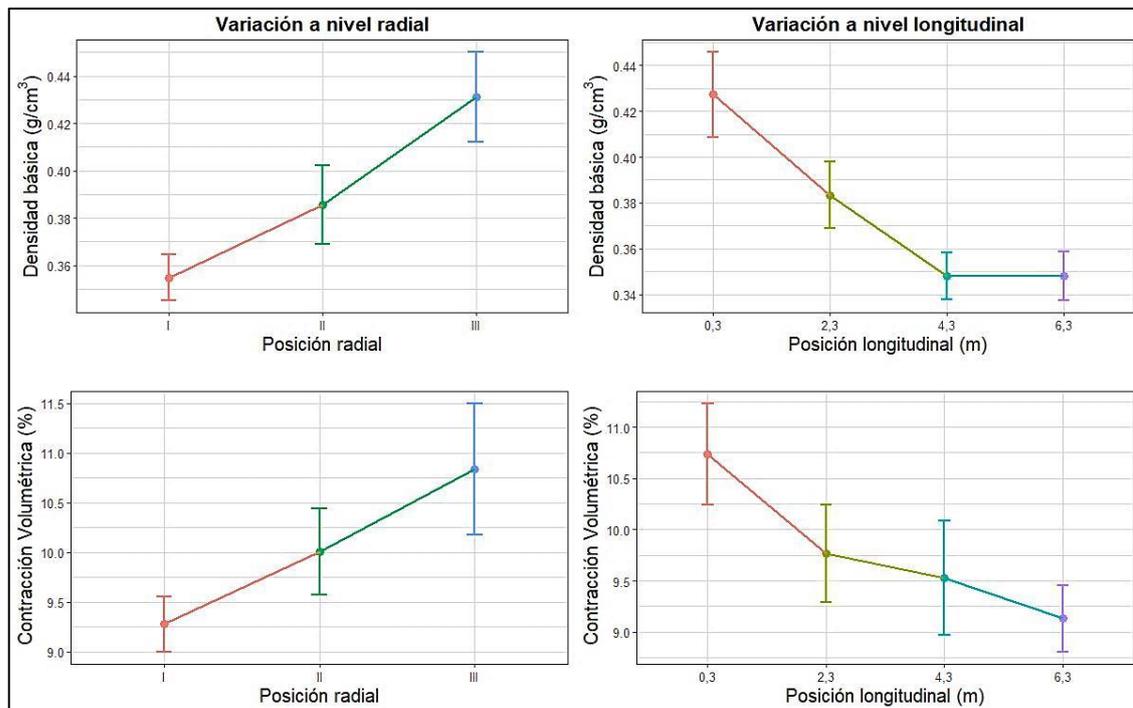


Figura 23: Variación media de densidad básica y contracción volumétrica a nivel radial y longitudinal

Tabla 9: Comparación de medias a nivel radial y longitudinal de la densidad básica (g/cm³) y contracción volumétrica (%) de la madera de *A. angustifolia*

Variable	Factor	Niveles de factor	Media
Densidad básica	Posición Radial	I	0,355 c
		II	0,386 b
		III	0,431 a
	Posición Longitudinal (m)	0,3	0,427 a
		2,3	0,383 b
		4,3	0,348 c
		6,3	0,348 c
Contracción volumétrica	Posición Radial	I	9,280 c
		II	10,006 b
		III	10,836 a
	Posición Longitudinal (m)	0,3	10,734 a
		2,3	9,764 b
		4,3	9,529 b
		6,3	9,133 b

Valores promedio en un mismo factor, seguidos de letras diferentes, presentan diferencias significativas comparadas por la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon al 95% de confianza para el factor posición longitudinal de densidad básica, mientras que los demás factores de densidad básica y contracción volumétrica, presentan diferencias significativas comparadas por la prueba de Duncan al 95% de confianza.

3. RELACIÓN ENTRE LA ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Como indica Bárcenas-Pazos *et al.* (2005), algunas características anatómicas pueden ser útiles para estimar sus propiedades físicas y usos. Arroyo (1983), indica que la densidad básica depende del tamaño de las células, el espesor de sus paredes, entre otros.

Se obtuvieron promedios por cada nivel de factor en las posiciones longitudinales y radiales para las variables físicas y anatómicas evaluadas como se detalla en la Tabla 10.

Tabla 10: Promedios de propiedades físicas y dimensiones anatómicas por posición longitudinal y radial

Posición longitudinal (m)	Posición radial	Densidad básica (g/cm ³)	Contracción volumétrica (%)	Espesor de pared (μm)	Longitud de traqueidas (μm)
0,3	I	0,389	10,050	3,802	3215,371
	II	0,444	10,878	4,095	4283,137
	III	0,449	11,276	4,328	4766,636
2,3	I	0,352	9,204	3,714	3587,622
	II	0,385	9,691	3,808	4504,516
	III	0,413	10,396	4,071	5017,739
4,3	I	0,338	9,108	3,691	3399,326
	II	0,358	9,949	3,763	4550,587
6,3	I	0,341	8,761	3,388	3204,697
	II	0,355	9,505	3,913	4364,317

En las Figuras 24 y 25 se presenta la variabilidad de las variables físicas y anatómicas. En estas se observa que a nivel radial, independientemente de la posición longitudinal, las variables anatómicas y físicas tienen evidentemente mayores valores en posiciones más cercanas a la corteza, mientras que cuando se analizan longitudinalmente las posiciones radiales, se observan mayores valores en posiciones más cercanas a la base, sin embargo la diferencia es menos evidente.

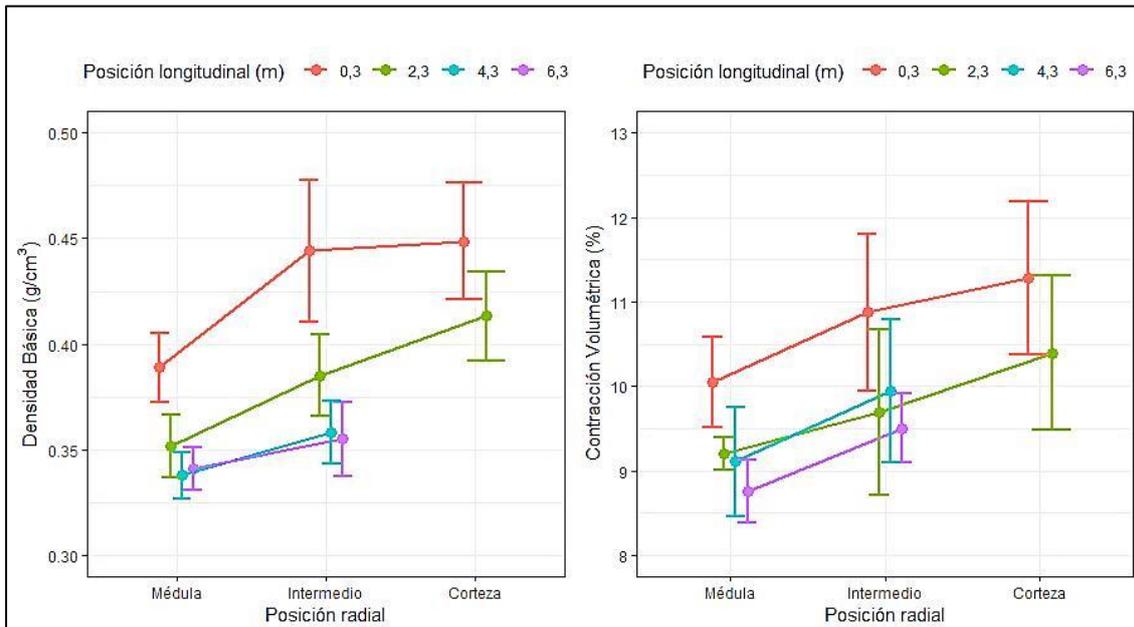


Figura 24: Variación media de las propiedades físicas por posición longitudinal y radial

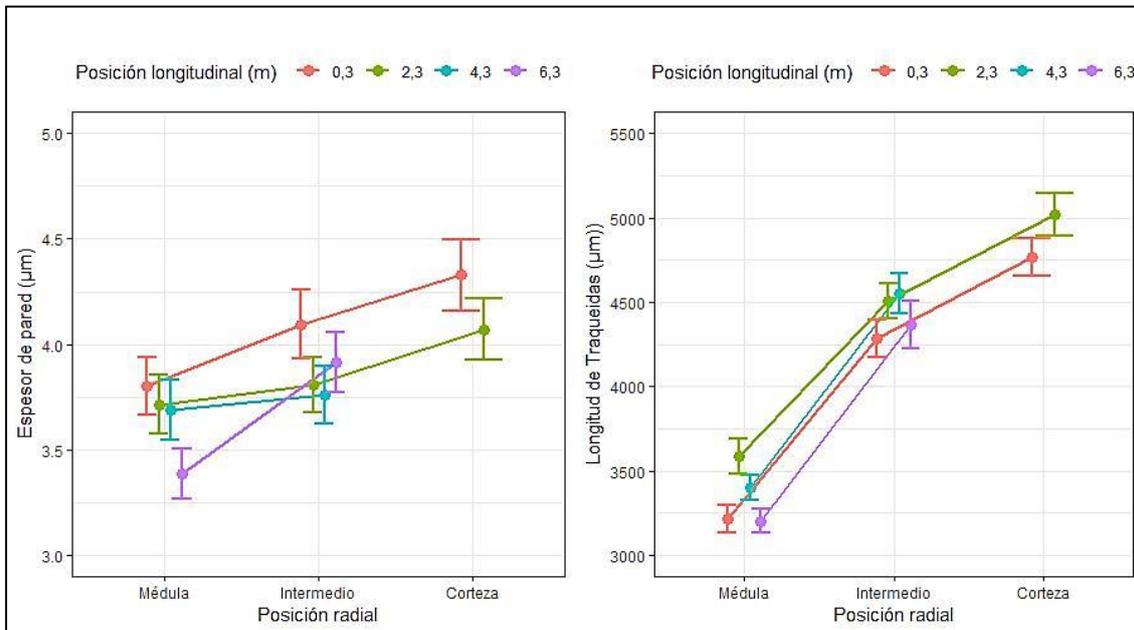
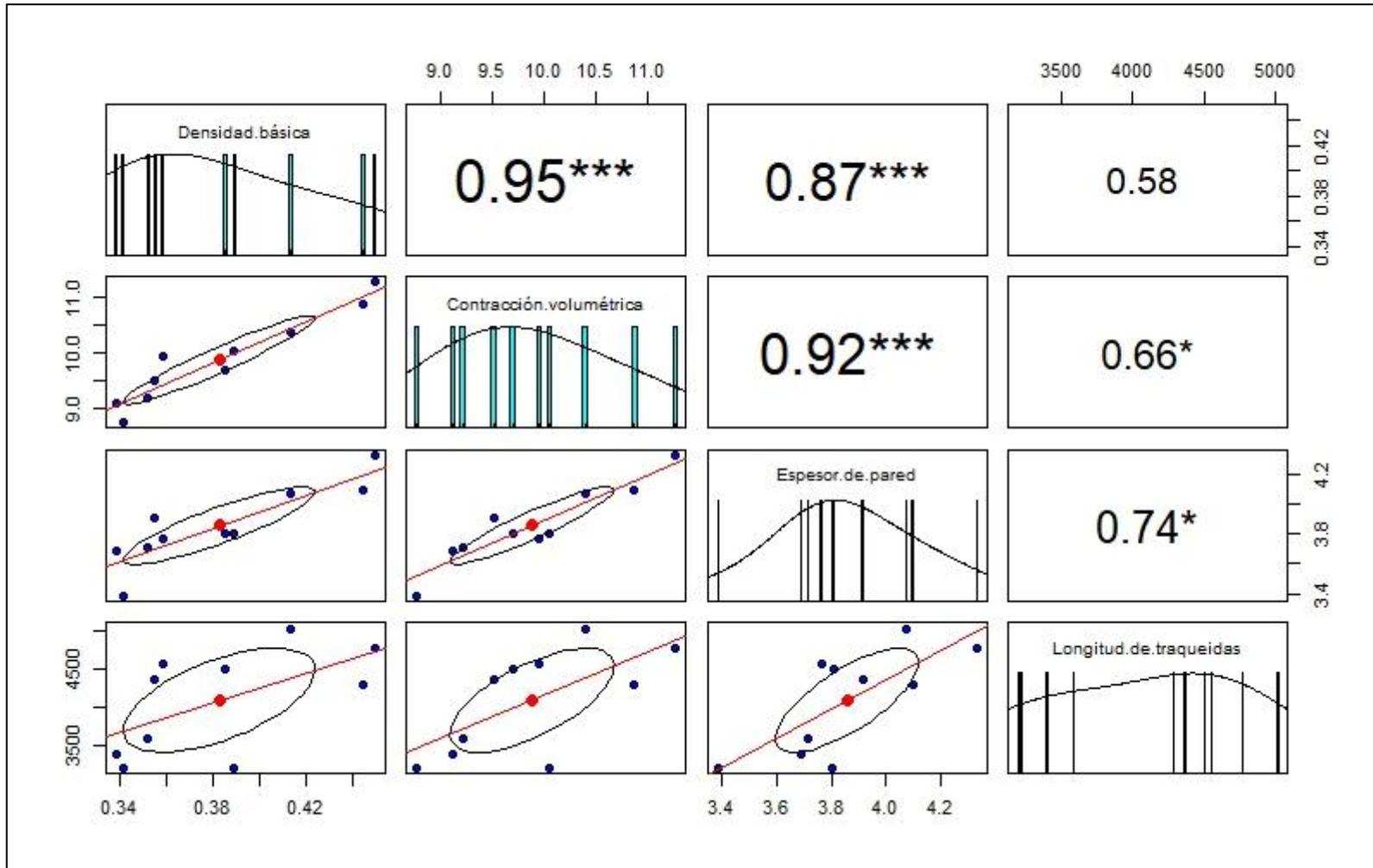


Figura 25: Variación media de las dimensiones anatómicas por posición longitudinal y radial

3.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Como se ve en la Figura 26, además del valor obtenido para el coeficiente de correlación, se determinó su significancia. Cuando p resultó significativo ($< 0,05$), se aceptó que existe correlación y que el valor del coeficiente de correlación no se debió al azar (Mondragón, 2014), sea este cercano a 0 o ± 1 (Gorgas, Cardiel y Zamorano, 2009). Solo se presentó correlación significativa entre las variables densidad básica y espesor de pared, contracción volumétrica y espesor de pared y contracción volumétrica y longitud de traqueidas, con coeficientes de correlación de 0,87; 0,92 y 0,66 respectivamente.



(*) Correlación significativa ($p < 0,05$), (***) Correlación altamente significativa ($p < 0,001$)

Figura 26: Correlación entre propiedades físicas y dimensiones anatómicas

3.3. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Con el propósito de crear modelos predictivos con las variables estudiadas se realizó regresión lineal simple en donde densidad básica y contracción volumétrica (variables dependientes) son explicadas por espesor de pared y longitud de traqueidas (variables independientes). Con espesor de pared se obtuvieron resultados significativos para explicar la variación de ambas variables físicas en la regresión (Ver Anexo 3A)

El primer modelo resultante explicó el 76,17% de la variabilidad de la densidad básica, conforme varía el espesor de pared. La ecuación fue:

$$DB_{g/cm^3} = -0,14937 + 0,13786 ep_{\mu m}$$

La misma se interpreta como: por cada 1 μm de espesor de pared adicional, la densidad básica aumenta en promedio 0,138 g/cm^3 . Además, se puede asegurar (con una confianza del 95%) que, por cada 1 μm de espesor de pared adicional, la densidad aumentará entre 0,075 y 0,201 g/cm^3 .

El segundo modelo resultante explica el 85,49% de la variabilidad de la contracción volumétrica, conforme varía el espesor de pared. La ecuación fue:

$$CV_{\%} = -1,0545 + 2,8351 ep_{\mu m}$$

La misma se interpreta como: por cada 1 μm de espesor de pared adicional, la contracción volumétrica aumenta en promedio 2,835 %. Además, se puede asegurar (con una confianza del 95%) que, por cada 1 μm de espesor de pared adicional, la contracción volumétrica aumentará entre 1,883 y 3,787%.

En la regresión entre contracción volumétrica y longitud de traqueidas, se obtuvieron resultados significativos (ver Anexo 3B) para explicar, de forma reducida, la variación de la contracción volumétrica. El tercer modelo resultante explicó el 43,20% de la variabilidad de la contracción volumétrica, conforme varía la longitud de traqueidas. La ecuación fue:

$$CV_{\%} = 6,7024 + 0,777 \text{ } lt_{mm}$$

La misma se interpreta como: por cada 1 mm de longitud de traqueidas adicional, la contracción volumétrica aumenta en promedio 0,777%. Además, se puede asegurar (con una confianza del 95%) que, por cada 1 mm de longitud de traqueidas adicional, la contracción volumétrica aumentará entre 0,0506 y 1,504%.

Los resultados de la regresión lineal múltiple no fueron satisfactorios (ver Anexo 3C), por lo que el modelo anterior, con el espesor de pared como única variable predictora para dar explicación a la variación de densidad básica y contracción volumétrica, fue el mejor.

4. DENDROECOLOGÍA

4.3. ANÁLISIS FUSTAL

Con los datos obtenidos de la medición de anillos de crecimiento en discos a distintas alturas del fuste de cuatro árboles de *A. angustifolia*, se procedió a construir el perfil longitudinal (Figura 27) y la tabla de variables dendrométricas (Tabla 11). El perfil longitudinal muestra que en todos los individuos existe un ahusamiento bien definido parecido al tipo dendrométrico neiloide desde 0 hasta 1,3 metros de altura, a partir del cual sigue el tipo coniforme.

Las variables dendrométricas fueron comparadas con las obtenidas en la estación experimental de Rio Negro - PR (Tabla 12). Se observa que los valores son similares, con un volumen promedio estimado ligeramente mayor en los árboles de Oxapampa debido a que alcanza mayor altura total, esto probablemente se deba a la riqueza del suelo ya que fue utilizado anteriormente para cultivos de café.

El factor de forma (FF) en el primer año es mayor a uno debido a que el cilindro con diámetro igual al dap es muy estrecho y la altura total a esa edad supera por poco la altura de pecho (1,3 m), en comparación a los siguientes años, lo que genera un volumen de madera real mayor que el cilindro. En los demás años el volumen del cilindro con diámetro igual al dap de la edad correspondiente es mayor que el volumen real, por lo que el valor del factor de forma es menor a uno.

Con respecto al espesor de la corteza, esta alcanza valores promedios de 22 y 15 mm a nivel tocón y 1,3 m de altura respectivamente, luego de la altura de pecho disminuye gradualmente hasta los 5 mm, por lo su aporte al volumen es considerable, y se obtiene aproximadamente una cantidad de madera igual a un año de crecimiento, es decir que el volumen calculado con corteza sería igual al volumen maderable sin corteza con un año más.

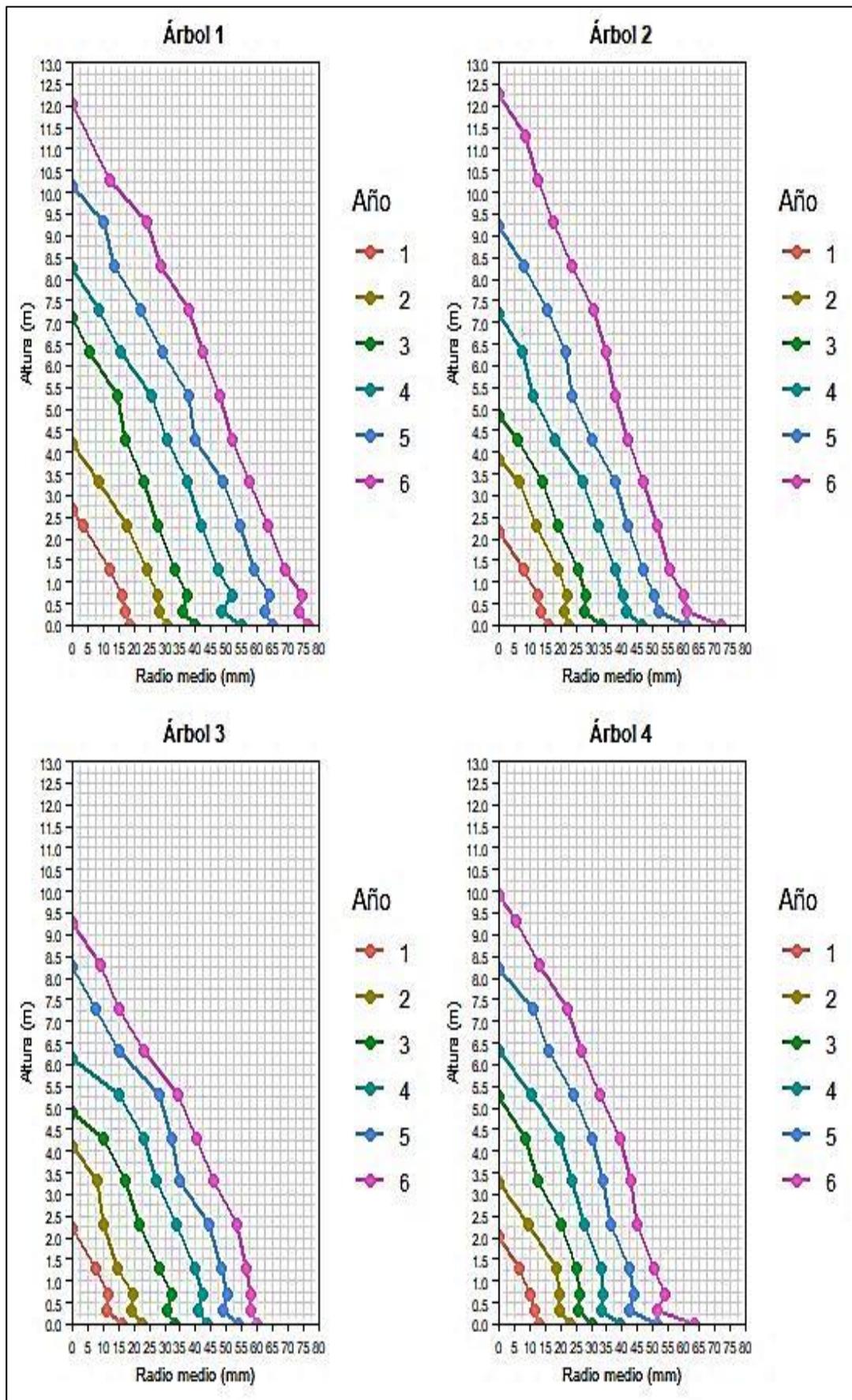


Figura 27: Perfil longitudinal de *A. angustifolia* por método convencional

Tabla 11: Variables dendrométricas de *A. angustifolia* proveniente de plantación en Oxapampa

Edad	dap (cm)	ICA _{dap}	IMA _{dap}	Área transversal (m ²)	Altura total (m)	ICA _h	IMA _h	Vol (m ³)	ICA _{vol}	IMA _{vol}	FF
1	1,70	1,70	1,70	0,0002	2,26	2,26	2,26	0,000746	0,000767	0,000746	1,444894
2	3,82	2,12	1,90	0,0012	3,87	1,60	1,93	0,003240	0,002494	0,001620	0,728245
3	5,61	1,79	1,87	0,0025	5,61	1,74	1,87	0,008473	0,005233	0,002824	0,598014
4	7,94	2,33	1,99	0,0050	7,02	1,42	1,76	0,019312	0,010838	0,004828	0,539595
5	9,86	1,92	1,97	0,0078	8,92	1,89	1,78	0,035612	0,016300	0,007122	0,513159
6	11,58	1,72	1,93	0,0107	10,86	1,95	1,81	0,056910	0,021299	0,009485	0,490673
6(cc)	14,50				10,95			0,081225			0,504925

cc: con corteza

Tabla 12: Variables dendrométricas de *A. angustifolia* proveniente de la estación experimental de Rio Negro – PR

Edad	dap (cm)	ICA _{dap}	IMA _{dap}	Área transversal (m ²)	Altura total (m)	ICA _h	IMA _h	Vol (m ³)	ICA _{vol}	IMA _{vol}	FF
1	0,00	0,00	0,00	0,0000	1,77	1,77	1,77	0,000068	0,000068	0,000068	0,000000
2	1,60	1,60	0,80	0,0002	3,83	2,05	1,91	0,000686	0,000618	0,000343	0,889390
3	3,73	2,13	1,24	0,0011	4,74	0,91	1,58	0,003400	0,002715	0,001133	0,657439
4	6,80	3,08	1,70	0,0036	6,44	1,71	1,61	0,012474	0,009074	0,003119	0,532297
5	9,47	2,67	1,89	0,0070	8,49	2,04	1,70	0,027790	0,015316	0,005558	0,464644
6	11,77	2,30	1,96	0,0109	9,26	0,78	1,54	0,050265	0,022475	0,008377	0,498933
7	14,24	2,47	2,03	0,0159	1,08	1,55	1,54	0,081034	0,030769	0,011576	0,470808
8	16,47	2,23	2,06	0,0213	1,19	1,07	1,49	0,119627	0,038593	0,014953	0,472644

Fuente: Soares (2014)

La Tabla 13 muestra los índices de forma, donde se observan que a mayor altura los índices ovalidad y excentricidad aumentan, lo que indica que en las posiciones longitudinales mayores los crecimientos radiales son más homogéneos. Además se muestra la clasificación propuesta por Rosot (2002) para cada una de las alturas evaluadas.

Tabla 13: Índices de forma por altura

Altura (m)	Ovalidad (d/D)		Excentricidad (r/R)	
0,0	0,865	Circular	0,737	Levemente excéntrica
0,3	0,910	Circular	0,764	Levemente excéntrica
0,7	0,929	Circular	0,847	Centrada
1,3	0,942	Circular	0,856	Centrada
2,3	0,948	Circular	0,880	Centrada
3,3	0,931	Circular	0,861	Centrada
4,3	0,942	Circular	0,884	Centrada
5,3	0,940	Circular	0,843	Centrada
6,3	0,951	Circular	0,870	Centrada
7,3	0,965	Circular	0,882	Centrada
8,3	0,958	Circular	0,908	Centrada
9,3	0,960	Circular	0,911	Centrada
10,3	0,964	Circular	0,900	Centrada
11,3	0,950	Circular	0,937	Centrada

4.4. CRECIMIENTO

La variación en el volumen se muestra en las curvas de crecimiento definidas por el ICA y por el IMA de *A. angustifolia* proveniente de Oxapampa y Rio Negro (Figura 28).

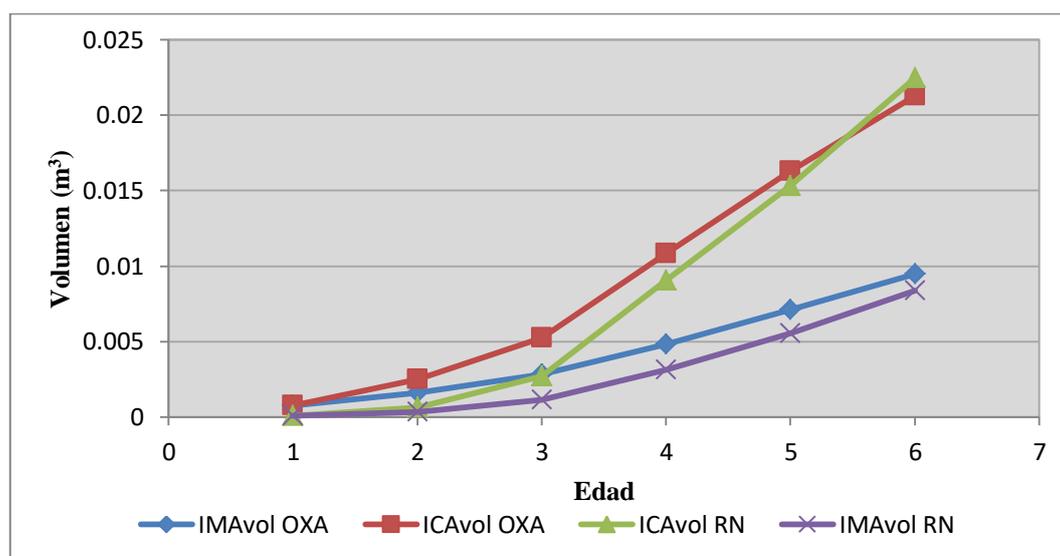


Figura 28: Curva de ICA e IMA de *A. angustifolia* proveniente de Oxapampa y Rio Negro

Los valores de ICA_{dap} e IMA_{dap} promedio de los individuos provenientes de Oxapampa son $1,93 \pm 0,25$ cm y $1,89 \pm 0,10$ cm respectivamente, mientras que para los que provienen de Rio Negro son $1,97 \pm 0,56$ cm y $1,27 \pm 0,49$ cm respectivamente.

4.5. INFLUENCIA CLIMÁTICA EN EL CRECIMIENTO RADIAL

4.5.1. DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO

La influencia climática en el crecimiento radial se comprobó mediante análisis de correlación entre series cronológicas y variables climáticas (precipitación y temperatura). En la Tabla 14 se presentan los promedios de crecimiento radial anual y variables climáticas en tres períodos y en las Figuras 29, 30 y 31 las cronologías y correlaciones entre las variables en estudio en el período enero – diciembre, en las Figuras 32, 33 y 34 las correspondientes al período septiembre – agosto y en las Figuras 35, 36 y 37 las correspondientes al período octubre – septiembre.

Tabla 14: Variación de las variables climáticas y crecimiento radial a diferentes alturas por período anual

Período	Año	pp (mm)	T prom	Radio a 0 m de altura (mm)	Radio a 0,7 m de altura (mm)	Radio a 1,3 m de altura (mm)
Enero – Diciembre	2010	1444,0	18,323	15,941	12,647	8,5043
	2011	1858,1	17,755	8,776	9,582	10,602
	2012	1935,0	17,785	9,503	8,788	8,929
	2013	1895,3	18,091	11,966	11,063	11,668
	2014	1697,8	18,214	11,709	10,261	9,607
	2015	1673,2	18,562	10,112	9,321	8,578
Septiembre – Agosto	2010	1523,0	18,387	15,941	12,647	8,5043
	2011	1899,0	18,026	8,776	9,582	10,602
	2012	1695,1	17,774	9,503	8,788	8,929
	2013	2097,0	17,916	11,966	11,063	11,668
	2014	1673,7	18,393	11,709	10,261	9,607
	2015	1807,0	18,449	10,112	9,321	8,578
Octubre – Septiembre	2010	1521,5	18,459	15,941	12,647	8,5043
	2011	1915,6	17,949	8,776	9,582	10,602
	2012	1701,0	17,832	9,503	8,788	8,929
	2013	2087,5	18,079	11,966	11,063	11,668
	2014	1720,2	18,420	11,709	10,261	9,607
	2015	1761,3	18,523	10,112	9,321	8,578

Como se ve en las Figuras 31, 34 y 37, además del coeficiente de correlación, se determinó su significancia. Cuando p resultó significativo ($< 0,05$), se aceptó que existe correlación y que el valor del coeficiente de correlación no se debió al azar (Mondragón, 2014), sea este cercano a 0 o ± 1 (Gorgas *et al.*, 2009). Solo se presentó correlación significativa entre las variables precipitación anual acumulada y el crecimiento radial anual a 1,3 m de altura en los períodos anuales de septiembre – agosto y octubre – septiembre con coeficientes de correlación de 0,86 y 0,92, respectivamente.

Este resultado fue similar al encontrado en un estudio de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de la granja Porcon (Cajamarca) por Domínguez (2014), que indicó que a diferencia de la temperatura, la precipitación fue el factor más influyente en la formación de anchos de anillos y por lo tanto del crecimiento radial; ya que la formación de anillos de anchos variables es una respuesta del cambium a los periodos de mayor y menor precipitación.

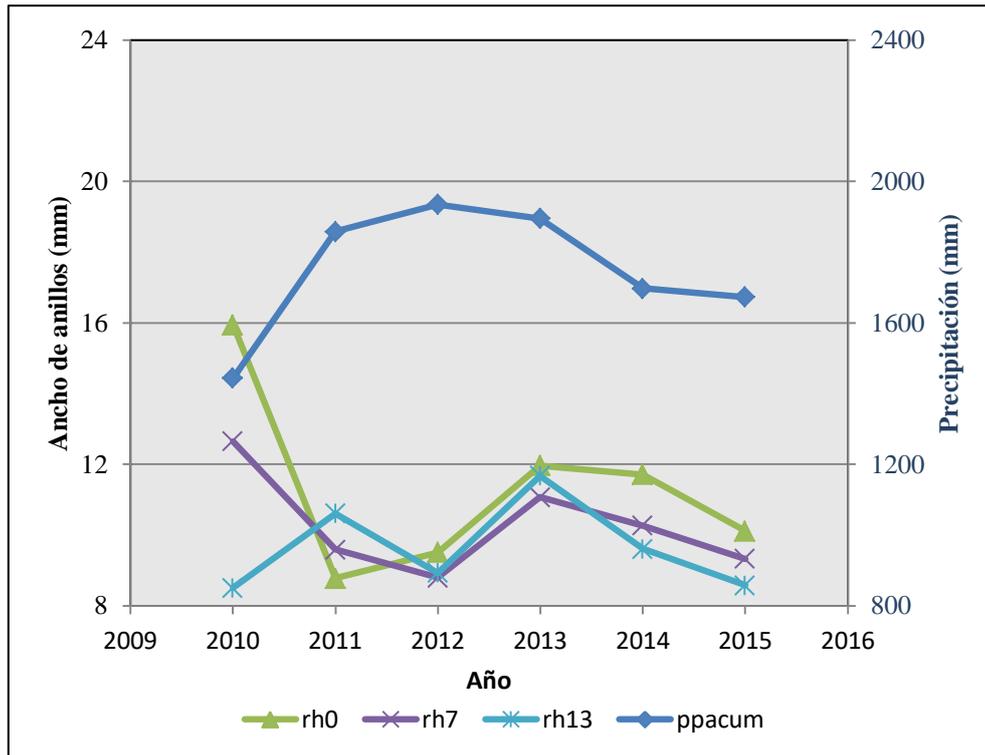


Figura 29: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs precipitación en el período enero – diciembre

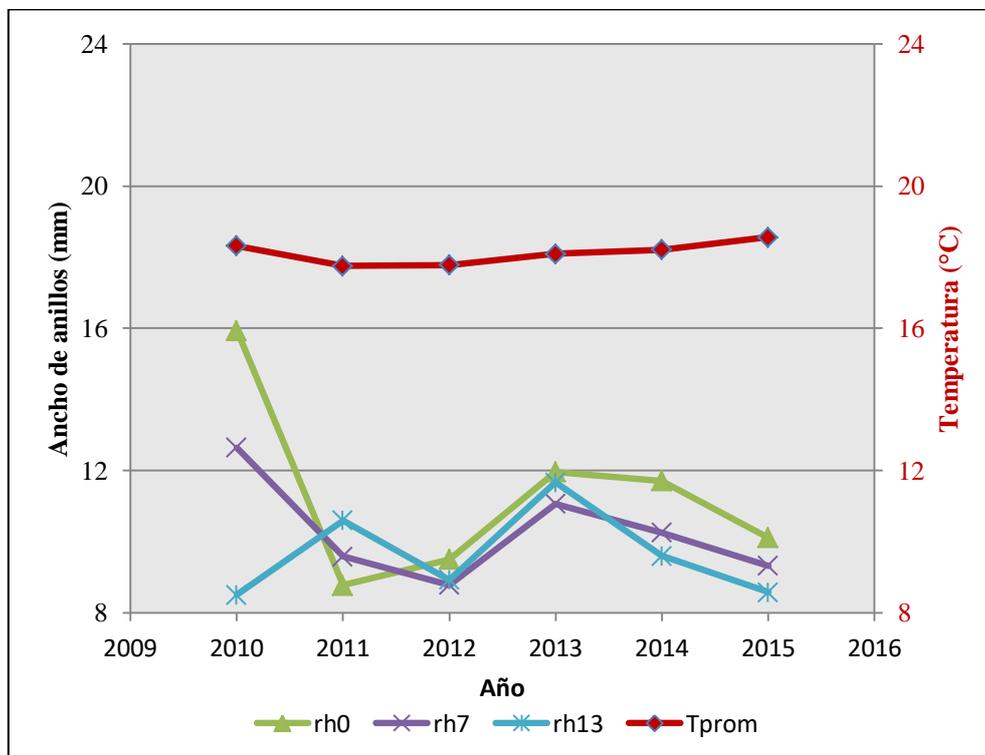


Figura 30: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs temperatura en el período enero – diciembre

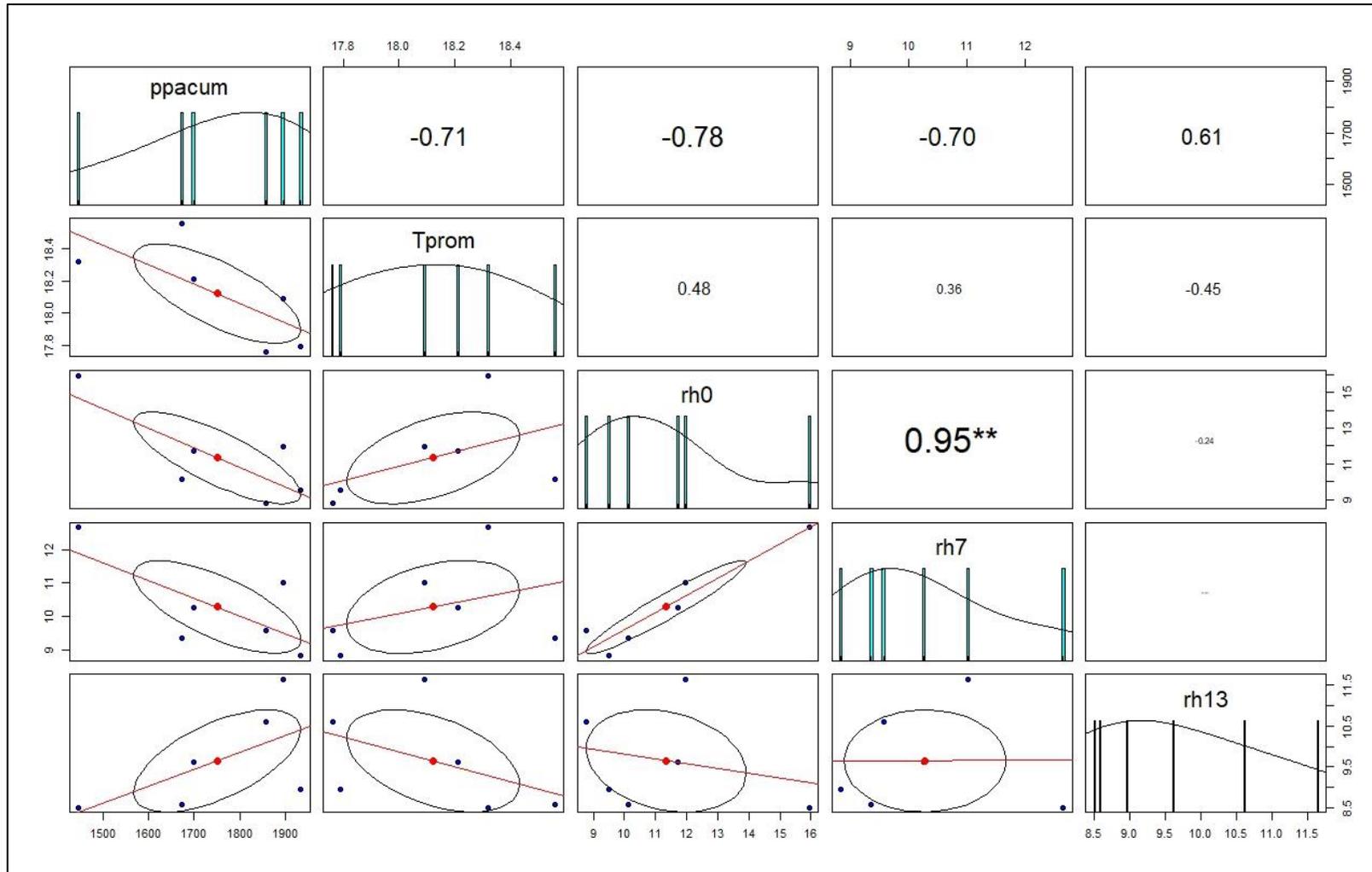


Figura 31: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de *A. angustifolia* a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período enero – diciembre

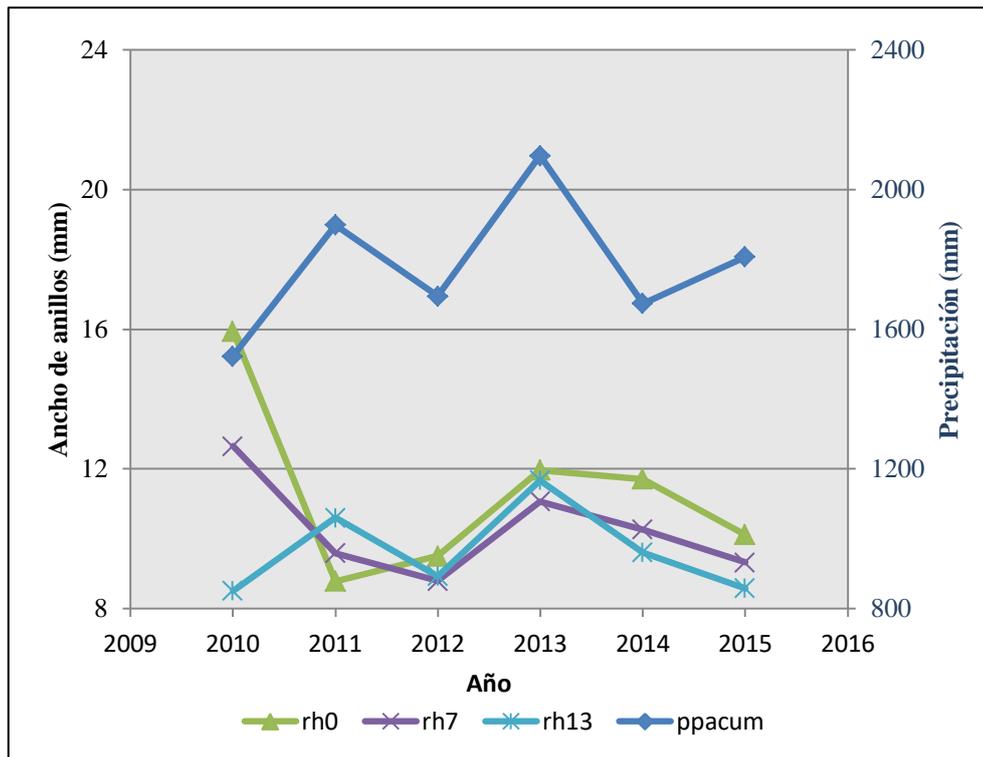


Figura 32: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs precipitación en el período septiembre – agosto

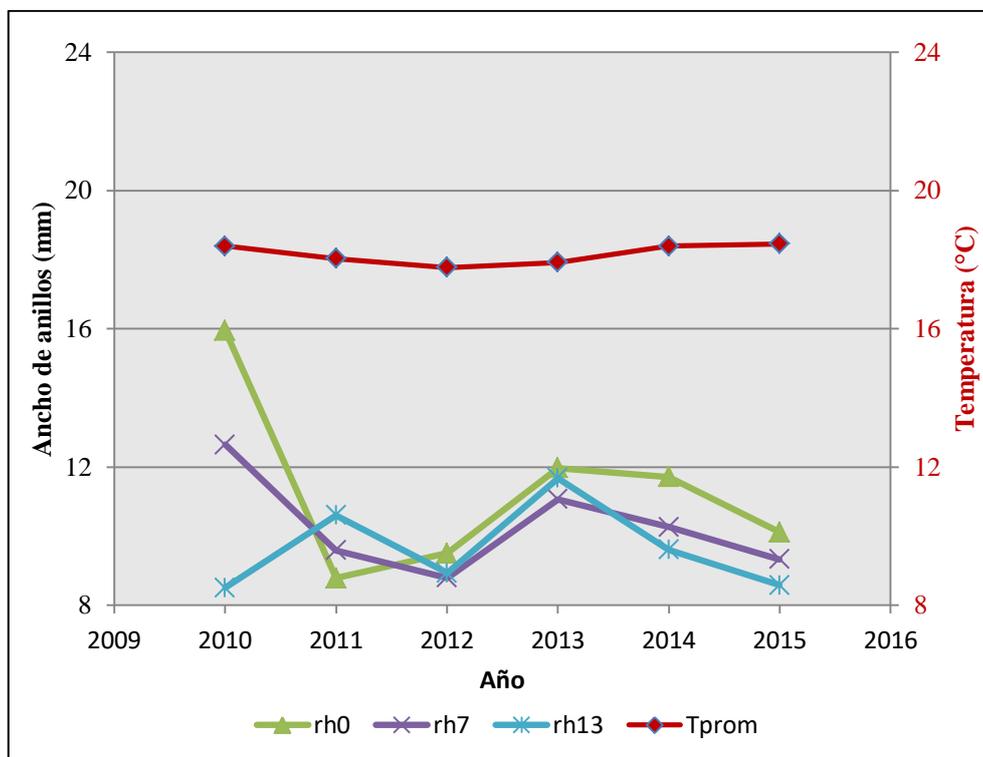
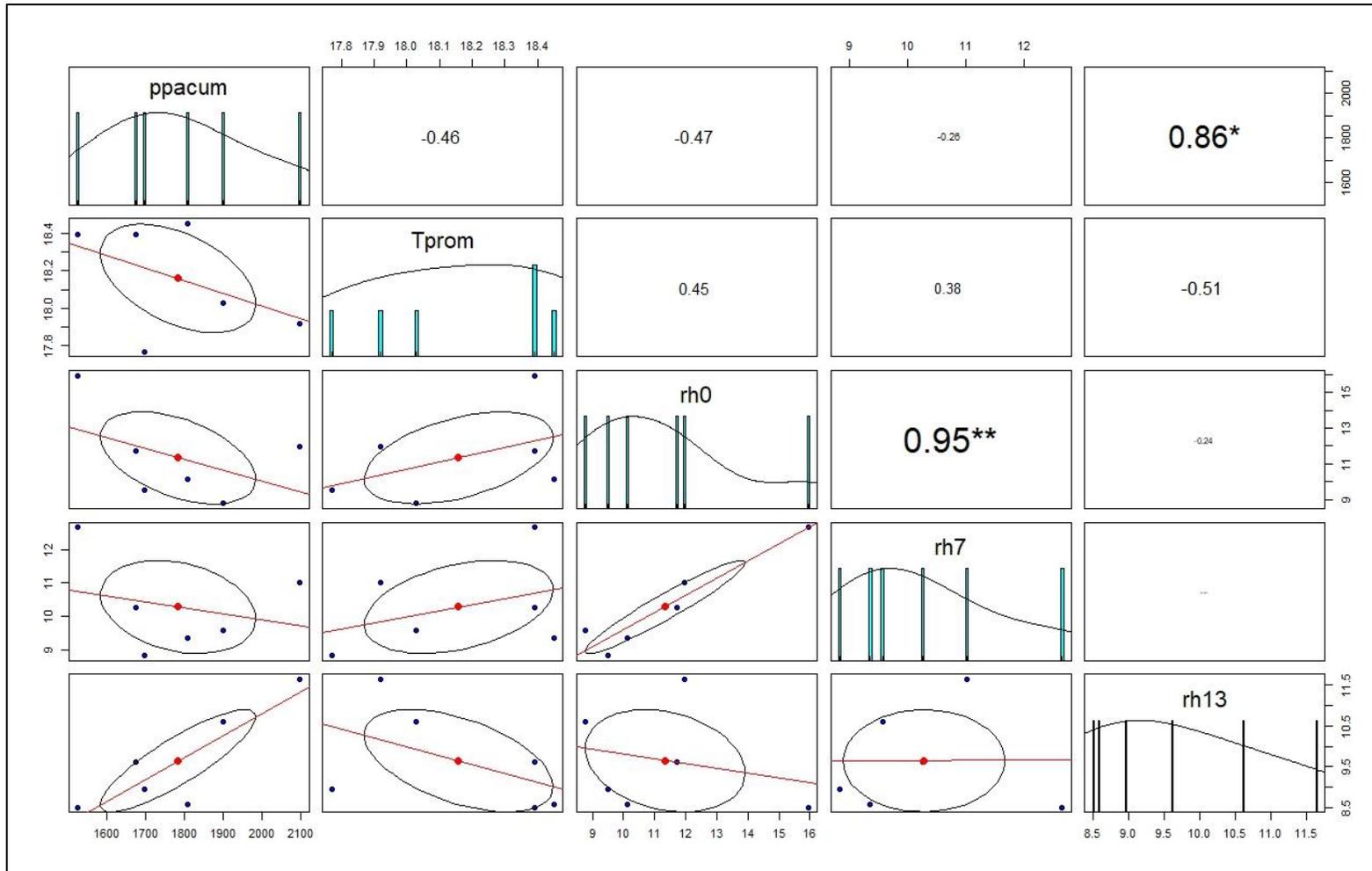


Figura 33: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs temperatura en el período septiembre – agosto



(*): Correlación significativa

Figura 34: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de *A. angustifolia* a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período septiembre – agosto

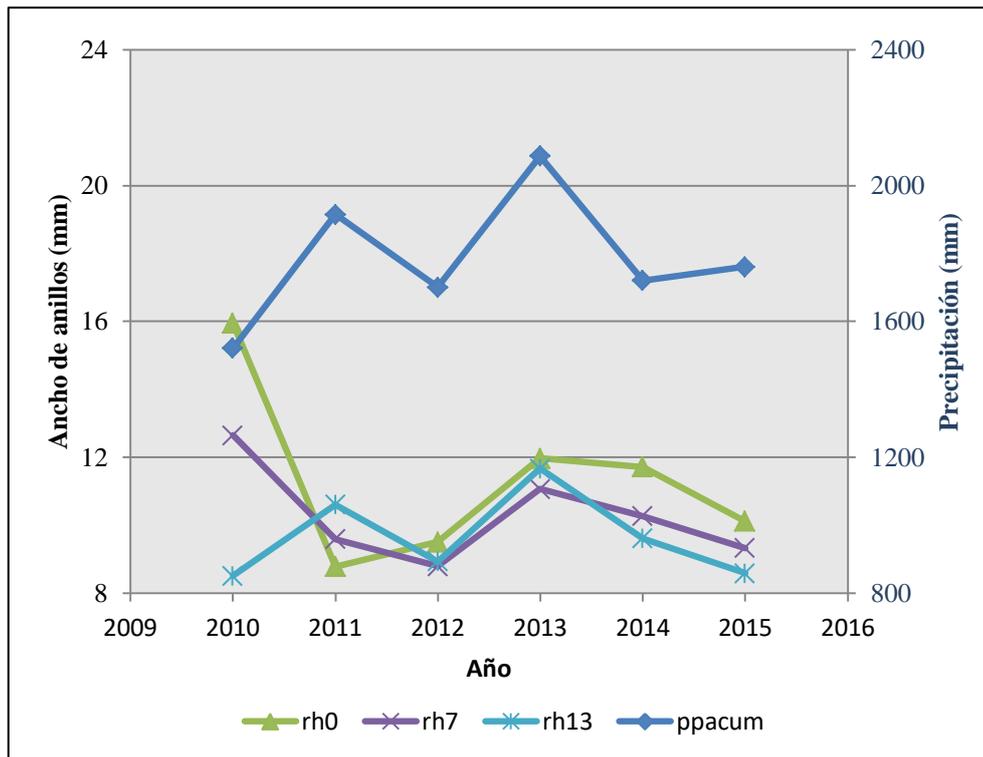


Figura 35: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs precipitación en el período octubre – septiembre

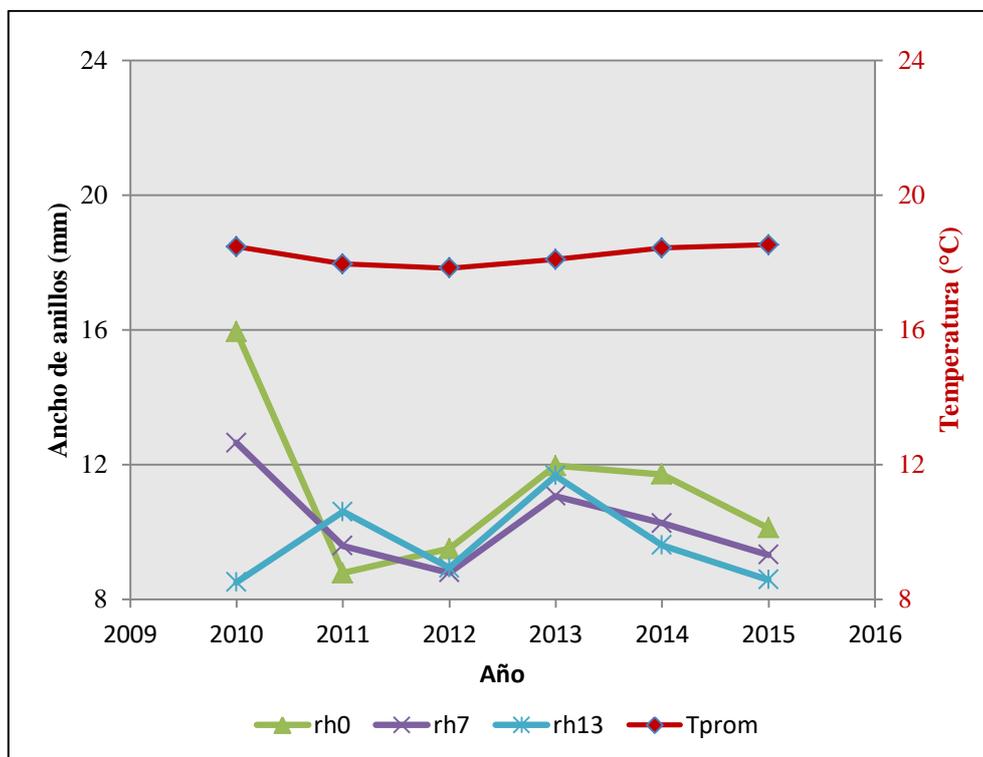
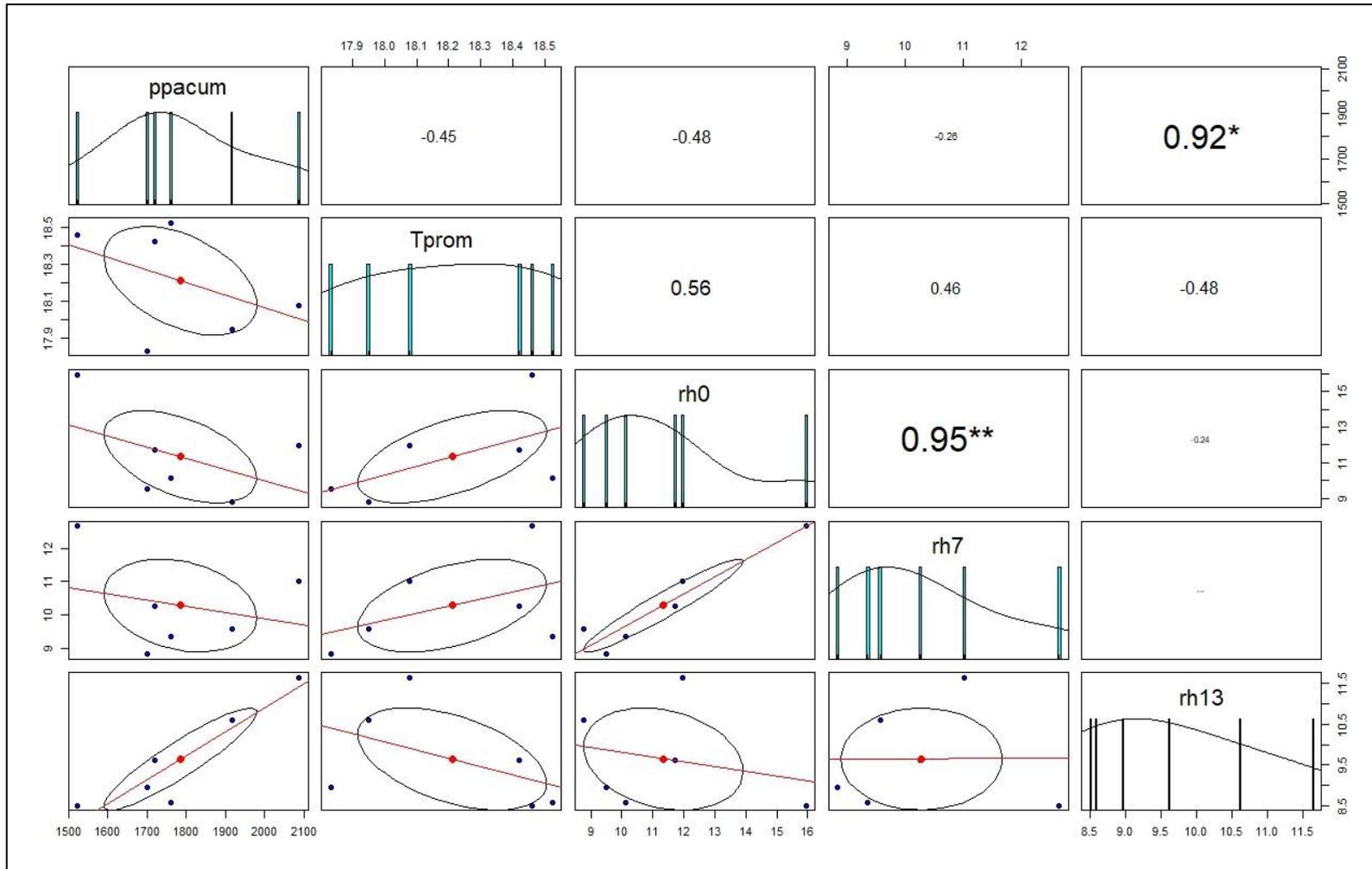


Figura 36: Cronología del crecimiento radial de *A. angustifolia* vs temperatura en el período octubre – septiembre



(*): Correlación significativa

Figura 37: Correlación entre precipitación, temperatura y crecimiento radial de *A. angustifolia* a 0; 0,7 y 1,3 m de altura en el período octubre – septiembre

De acuerdo a los resultados del análisis fustal, en el estudio de los índices de forma (Tabla 13), los valores promedios de excentricidad y ovalidad son mayores a una altura de 1,3 m comparada con las otras dos posiciones longitudinales evaluadas, lo que explicaría que el crecimiento radial a esta altura sea más influenciado por la variación climática que por factores intrínsecos del árbol como la formación de madera de reacción.

4.5.2. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Con el propósito de crear un modelo predictivo con las variables estudiadas se realizó regresión simple en donde el crecimiento radial (variable dependiente) es explicado por la precipitación anual acumulada (variable independiente). Para corroborar la mejor relación entre el crecimiento radial a 1,3 m de altura con las variables climáticas en el período octubre – septiembre, se procedió a crear modelos de regresión lineal simple con todas las variantes de períodos anuales y posiciones longitudinales de la muestra. Solo a una altura de 1,3 m en el período octubre – septiembre se obtuvo resultados significativos para la regresión lineal simple (ver Anexo 5B)

El modelo resultante explicó el 83,82% de la variabilidad del crecimiento radial, conforme varía la precipitación anual acumulada. La ecuación fue:

$$CR_{mm} = -0,826 + 0,00593 pp_{mm}$$

La misma se interpreta como: por cada 1000 mm de precipitación acumulada adicional en un año, el anillo de crecimiento aumentará en promedio 5,93 mm. Además, se puede asegurar (con una confianza del 95%) que por cada 1000 mm de precipitación, el crecimiento radial estará entre 2,31 y 9,54 mm.

Los resultados de la regresión lineal múltiple no fueron satisfactorios (ver Anexo 5C), por lo que el modelo anterior, con precipitación como única variable predictora para dar explicación a la variación del crecimiento radial anual, fue el mejor.

De esta manera se comprobó que, como lo indica Gutiérrez (2009), la variabilidad interanual e intraanual del clima es reflejada en el anillo formado, lo que genera una sincronía.

V. CONCLUSIONES

- 1) En posiciones más cercanas a la base y corteza se encontraron mayores valores de longitud de traqueidas, espesor de pared, densidad básica y contracción volumétrica de *A. angustifolia*.
- 2) El espesor de pared de traqueidas de *A. angustifolia* fue la variable anatómica de mayor influencia en la densidad básica y contracción volumétrica promedio.
- 3) El análisis fustal demostró ser un método adecuado para la evaluación de las altas tasas de crecimiento de *A. angustifolia*.
- 4) La precipitación fue la variable climatológica de mayor influencia en el crecimiento radial de los árboles de *A. angustifolia*.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de crecimiento a 1,3 m de altura, mediante técnicas dendrocronológicas, ya que presenta mayor índice de forma y relación con la variación de la precipitación anual.
- Comparar los resultados obtenidos del análisis fustal convencional con otro método que use el área transversal para la obtención de variables dendrométricas.
- Realizar estudios complementarios de propiedades mecánicas.
- Determinar el porcentaje de madera tardía en cada anillo de crecimiento para precisar el análisis de la influencia de la anatomía en las propiedades de la madera.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amoroso, M. & Suárez, M. (2015). La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. *Ecosistemas*, 24(2): 1-6. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-2.01
- Aróstegui, A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, Perú: PNUD-FAO.
- Arroyo, J. (1983). Propiedades Físico-Mecánicas de la madera. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Bárceñas-Pazos, G.; Ortega-Escalona, F.; Ángeles-Álvarez, G.; Ronzón-Pérez, P. (2005). Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Universidad y Ciencia*, 21(42): 45-55. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/154/15404201.pdf>
- Campos, L. (2009). Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonía, Región Loreto – Perú (Tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cancino, J. (2012). Dendrometría Básica. Recuperado de http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/407/Dendrometria_Basica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Canetti, A.; Mattos, P.; Braz, E. (julio, 2013). Limites diamétricos de predição do crescimento de árvores a partir de série de anéis de crescimento. Anais do XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas. Paraná, Brasil. Resumen recuperado de https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/979831/1/Doc.253XII_Evincicompleto.pdf
- Chumbimune, S. (2017). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café

- en Villa Rica, Perú (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Crechi, E.; Keller, A.; Fassola, H.; Moscovich, F.; Kubsch, H. (2008). Desarrollo de una ecuación de forma-volumen relativo para la estimación de diferentes volúmenes de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* en el norte de Misiones, Argentina. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-ecuacion-forma-volumen-pinus.pdf>.
- Crechi, E.; Keller, A.; Fassola, H.; Fernández, R.; Friedl, R. (2009). Efectos del raleo sobre el crecimiento y la producción de madera de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. en el Noroeste de Misiones, Argentina. XIII World Forestry Congress. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-efecto-del-raleo-araucaria.pdf>
- Cubas, R. (2015). Restablecimiento de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* após sete décadas da exploração florestal (Tesis doctoral, Universidade Federal de Santa Maria). Recuperada de <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3787/CUBAS,%20RAFAEL.pdf>
- Díaz-Vaz, J. (1984). *Araucaria araucana*: Descripción anatómica. *Bosque* 5(2):117-118. Recuperada de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v5n2/art08.pdf>
- Di Marco, E. (2012). *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. (familia Araucariaceae). Ficha Técnica. *Revista Producción* 2(4): 48-49. Recuperado de https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/_archivos/revista-produccion-forestal/04.pdf
- Domínguez, J. (2014). Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de la Granja Porcon (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Evans, P.; Mundo, I.; Wiemann, M.; Chavarria, G.; McClure, P.; Voin, D.; Espinoza, E. (2017). Identification of selected CITES-protected Araucariaceae using DART TOFMS. *IAWA Journal*, 38 (2): 266–281. Recuperado de https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2017/fpl_2017_evans001.pdf

- Finger, C. (1992). Fundamentos de Biometria Florestal. Santa Maria, Brasil: UFSM / CEPEF / FATEC.
- Fontana, C.; Olmedo, G.; Oliveira, J. (2018). Dendrocronologia de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) no Parque Municipal do Vale do Rio do Peixe, Joaçaba, Santa Catarina. III Seminário sul-brasileiro sobre a sustentabilidade da Araucária. Recuperado de https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/seminario-araucaria/sustentabilidade-da-araucaria.pdf
- Gorgas, J.; Cardiel, N.; Zamorano, J. (2009). Estadística básica para estudiantes de ciencias. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: métodos y aplicaciones: En Arqueología Nàutica Mediterrània. Universidad de Barcelona. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228769173_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones
- Hess, A; Schneider, P; Finger, C. (2009). Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, 19(1):7-22. Recuperado de <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/415/288>
- IFONA. (2004). Fichas Técnicas de Especies Nativas e Implantadas de Argentina. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://forestoindustria.magyp.gob.ar/archivos/biblioteca-forestal/fichas-tecnicas-de-especies-nativas-e-implantadas-de-argentina.pdf>
- IAWA (International Association of Woods Anatomists). (2004). IAWA List of microscopic features for softwood identification. IAWA Journal 25(1): 1-70. Recuperado de https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/01_IAWA-Softwood_List.pdf
- Jost, F. (2006). Propiedades Físicas y Mecánicas de la Araucaña *angustifolia* proveniente de plantaciones de Oxapampa (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Lorensi, C & Prestes, A. (2015). Dendroclimatological reconstruction of spring-summer Precipitation for fazenda Rio Grande, Pr, With Samples of *Araucaria angustifolia*

- (Bertol.) Kuntze. *Revista Árvore*, 40(2):347-354. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200017>
- Lorensi, C. (2016). Resposta dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O.Kuntze da região sul do Brasil aos forçantes geofísicos e climáticos (Tesis doctoral, Universidade do Vale do Paraíba). Recuperado de <https://biblioteca.univap.br/jspui/bitstream/tede/30/10/00001c4d.pdf>
- Machado, S.; Zamin, N.; Nascimento, R.; Santos, A. (2014). Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em fase Juvenil. *Floresta e Ambiente*, 21(2):170-181. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.015>
- Mattos, P.; Bortoli, C.; Marchesan, R.; Rosot, N. (2006). Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Embrapa Florestas. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/15427963.pdf>
- Melo, R.; Stangerlin, D.; Menezzi, C.; Gatto, D.; Calegari, L. (2010). Caracterização Física e Mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 5(1): 67-73. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1190/119012589011.pdf>
- Mondragón, M. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento científico*, 8(1):98-104. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281120822_USO_DE_LA_CORRELACION_DE_SPEARMAN_EN_UN_ESTUDIO_DE_INTERVENCION_EN_FISIOTERAPIA
- Montañez, R. (2013). Dinámica Temporal del Crecimiento y Dioecia de *Araucaria Angustifolia* en rodales implantados en el subtrópico de Argentina: Una Aproximación Dendrocronológica (Tesis de maestría, Universidad de Valladolid). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/3875/TFM-L63.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montoya, L. (2017). Balance entre biomasa y carbono en plantación de *Pinus tecunumanii* Eguluz & Perry (pino) y *Araucaria angustifolia* (bertol.) Kuntze (araucaria) en la estación experimental la favorita, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Tesis

- de pregrado, Universidad Técnica del Norte). Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7197/1/03%20FOR%20260%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- NTP (NORMA TÉCNICA PERUANA). Método para determinar el contenido de humedad. NTP251.010:2004.
- NTP (NORMA TÉCNICA PERUANA). Método de determinación de la densidad. NTP 251.011:2004.
- NTP (NORMA TÉCNICA PERUANA). Método de determinación de la contracción. NTP 251.012:2004
- Oliveira, J. (2007). Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia*: bases de dendroecología em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil (Tesis doctoral, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13618/000640278.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Retamoso, M. (2009). Manual del Reforestador Oxapampino. Proyecto "Desarrollo de Producción Forestal y Agroforestal en provincia de Oxapampa, Pasco". ProNaturaleza. Recuperado de <https://documentoskoha.s3-us-west-2.amazonaws.com/14169.pdf>
- Riaño, O. & Lizarazo, I. (2017). Estimación del volumen de madera en árboles mediante polinomio único de ahusamiento. *Colombia Forestal*, 20(1):55-62. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v20n1/v20n1a05.pdf>
- Ribeiro, A. (2016). Detecção de outliers e previsão de vendas numa empresa de distribuição farmacêutica em Portugal (Tesis de maestría, Universidade Portucalense). Recuperado de <http://repositorio.uportu.pt/jspui/bitstream/11328/1560/1/TMI%2043.pdf>
- Rolim, M. & Ferreira, M. (1974). Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. *IPEF*, 9:47-55. Recuperado de <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr09/cap03.pdf>
- Rosa, T.; Hillig, E.; Viana, L. (2013). Propriedades Físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. *Ciência da*

Madeira, Pelotas 4(1):1-14. DOI: 10.12953/2177-6830.v04n01a01

Rosero, J. (2011). Análisis Dendrocronológico de tres especies forestales del Bosque seco Ecuatorial Estacional (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Rosot, M.; Disperati, A.; Figueiredo, A. (2001a). Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais. Revista *Árvore*, 25(1): 79-88. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=nHiaAAAIAAJ&pg=PA85&lpg=PA85&dq=Revista+%C3%81rvore,+25\(1\):+79-88&source=bl&ots=POGf_UqINf&sig=ACfU3U1V_Z1tvtJ8XsUL0PKLbXciTjyErA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiWj4jls7kAhUEvIkKHaIVC68Q6AEwDHoECAkQAQ#v=onepage&q=Revista%20%C3%81rvore%2C%2025\(1\)%3A%2079-88&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=nHiaAAAIAAJ&pg=PA85&lpg=PA85&dq=Revista+%C3%81rvore,+25(1):+79-88&source=bl&ots=POGf_UqINf&sig=ACfU3U1V_Z1tvtJ8XsUL0PKLbXciTjyErA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiWj4jls7kAhUEvIkKHaIVC68Q6AEwDHoECAkQAQ#v=onepage&q=Revista%20%C3%81rvore%2C%2025(1)%3A%2079-88&f=false)

Rosot, M.; Disperati, A.; Figueiredo, A. (2001b). Medição de áreas transversais em análise de tronco por meio de técnicas de análise de imagem: uma simulação. Revista *Árvore*, 25(2): 231-239. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=t3iaAAAIAAJ&pg=PA229&lpg=PA229&dq=Revista+%C3%81rvore,+25\(1\):+79-88&source=bl&ots=H77y1RSq83&sig=ACfU3U2lql24-PBx_JdVlg1PIZaf7Yd8vQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiWj4jls7kAhUEvIkKHaIVC68Q6AEwDnoECAgQAQ#v=onepage&q=Revista%20%C3%81rvore%2C%2025\(1\)%3A%2079-88&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=t3iaAAAIAAJ&pg=PA229&lpg=PA229&dq=Revista+%C3%81rvore,+25(1):+79-88&source=bl&ots=H77y1RSq83&sig=ACfU3U2lql24-PBx_JdVlg1PIZaf7Yd8vQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiWj4jls7kAhUEvIkKHaIVC68Q6AEwDnoECAgQAQ#v=onepage&q=Revista%20%C3%81rvore%2C%2025(1)%3A%2079-88&f=false)

Rosot, M. (2002). Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco (Tesis doctoral, Universidade Federal do Paraná). Recuperado de <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/32323/T%20-%20MARIA%20AUGUSTA%20DOETZER%20ROSOT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rosot, M; Figueiredo, A; Disperati, A; Emerenciano, D. (2003). Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. Revista *Floresta*, 33(3): 235-255. Recuperado de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32130/1/ANALISE-DE-TRONCO-DIGITAL-UMA-NOVA-METODOLOGIA.pdf>

- Santarosa, E.; Oliveira, J.; Roig, A. (2007). Crescimento Sazonal em *Araucaria angustifolia*: Evidências Anatômicas. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1): 618-620. Recuperado de <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/634/536>
- Siegloch, A. & Marchiori, J. (2015). Anatomia da madeira de treze espécies de coníferas. *Ciência da Madeira*, 6(3): 149-165. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n3p149-165
- Soares, M. (2014). ANATRO UFPR – software para análise de tronco, em meio digital, utilizando sistema polar (Tesis doctoral, Universidade Federal do Paraná). Recuperado de <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/40351/R%20-%20T%20-%20MARIO%20DE%20PAULA%20SOARES%20FILHO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Solórzano, J. (2001). Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão (Tesis de maestría, Universidade de São Paulo). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/35225244_Demografia_fenologia_e_ecologia_da_dispersao_de_sementes_de_Araucaria_angustifolia_Bert_Kuntze_Araucariaceae_e_numa_populacao_relictual_em_Campos_do_Jordao_SP](https://www.researchgate.net/publication/35225244_Demografia_fenologia_e_ecologia_da_dispersao_de_sementes_de_Araucaria_angustifolia_Bert_Kuntze_Araucariaceae_numa_populacao_relictual_em_Campos_do_Jordao_SP)
- Suntaxi, F & Jiménez, E. (2011). Aproximación dendroclimatológica, en un bosque seco utilizando la especie Guasmo (*Guazuma ulmifolia*) y su relación con la precipitación y la Temperatura en el Período 1974 -2007. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 24(1):19-26. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/47375523>
- Timofiecsyk, A. & Mattos, P. (2002). Características físicas, químicas e anatômicas das madeira de *Araucaria angustifolia*. Embrapa Florestas. Recuperado de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/99119/1/CARACTERiSTICAS-FiSICAS-QUIMICAS-E-ANATOMICAS.pdf>
- Vega, N. (2010). Evaluación de las propiedades físico mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) procedente de plantaciones de 20 años del Bosque Nacional Alexander von Humboldt, Ucayali (Perú) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Vignote, S; Martínez-Rojas, I.; Villasante, A. (2013). La Silvicultura y la Calidad de la Madera.. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/262730301_SILVICULTURA_y_CALIDAD_DE_MADERA

Zaque, L.; Ferreira, D.; Melo, R. (2018). Variação radial e longitudinal da massa específica básica da madeira de *Araucaria angustifolia* com diferentes idades. Pesquisa Florestal Brasileira Brazilian Journal of Forestry Research. DOI: 10.4336/2018.pfb.38e201601368

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. ANATOMÍA DE LA MADERA

A. DIMENSIONES DE TRAQUEIDAS POR ÁRBOL

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (μm)	Ancho (μm)	Diámetro de lumen (μm)	Espesor de pared (μm)
1	0,3	I	3800,138	32,586	28,072	2,257
1	0,3	I	3015,451	37,064	30,893	3,086
1	0,3	I	3294,119	38,768	31,916	3,426
1	0,3	I	2987,052	31,995	23,582	4,207
1	0,3	I	3313,114	33,689	25,655	4,017
1	0,3	I	3321,965	37,713	32,074	2,820
1	0,3	I	3184,205	31,911	25,514	3,199
1	0,3	I	2964,523	31,243	25,754	2,745
1	0,3	I	2921,986	38,893	33,379	2,757
1	0,3	I	3589,118	42,080	34,144	3,968
1	0,3	I	3389,952	30,827	25,103	2,862
1	0,3	I	3331,742	30,441	22,932	3,755
1	0,3	I	3411,98	40,992	30,332	5,330
1	0,3	I	3530,422	36,139	29,940	3,100
1	0,3	I	3012,916	34,874	28,803	3,036
1	0,3	I	3911,585	29,639	23,367	3,136
1	0,3	I	3132,527	32,965	23,828	4,569
1	0,3	I	3600,618	28,843	21,118	3,863
1	0,3	I	4093,687	31,911	24,287	3,812
1	0,3	I	4216,39	44,493	35,123	4,685
1	0,3	I	3485,952	33,329	25,991	3,669
1	0,3	I	3244,617	33,810	25,839	3,986
1	0,3	I	3095,800	42,782	35,683	3,550
1	0,3	I	2953,748	30,165	22,628	3,769
1	0,3	I	2916,690	34,199	28,671	2,764
1	0,3	II	4126,508	41,542	35,368	3,087
1	0,3	II	5192,559	48,764	43,937	2,414
1	0,3	II	4082,093	35,722	26,673	4,525
1	0,3	II	5073,401	39,091	33,571	2,760
1	0,3	II	4041,681	29,644	23,788	2,928
1	0,3	II	4134,218	41,723	35,448	3,138
1	0,3	II	4407,500	58,038	50,489	3,775
1	0,3	II	4577,674	31,778	25,711	3,034
1	0,3	II	5317,083	50,830	40,528	5,151
1	0,3	II	4606,131	44,216	35,167	4,525

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
1	0,3	II	4402,71	47,671	43,147	2,262
1	0,3	II	5918,692	52,263	43,716	4,274
1	0,3	II	4461,526	35,434	26,436	4,499
1	0,3	II	3971,357	33,426	26,667	3,380
1	0,3	II	4234,978	46,711	39,393	3,659
1	0,3	II	4377,967	40,980	33,684	3,648
1	0,3	II	4924,022	34,199	26,685	3,757
1	0,3	II	5442,587	49,454	41,923	3,766
1	0,3	II	5621,019	30,539	21,667	4,436
1	0,3	II	4044,879	41,893	37,276	2,309
1	0,3	II	4201,453	47,605	43,224	2,191
1	0,3	II	4484,943	44,102	36,966	3,568
1	0,3	II	4273,236	48,136	42,069	3,034
1	0,3	II	4384,844	41,287	30,565	5,361
1	0,3	II	5010,063	38,930	33,289	2,821
1	0,3	III	5746,111	40,980	33,628	3,676
1	0,3	III	4769,749	37,655	32,484	2,586
1	0,3	III	4528,233	45,147	36,731	4,208
1	0,3	III	6008,834	47,218	38,877	4,171
1	0,3	III	5174,169	39,723	31,000	4,362
1	0,3	III	4606,362	32,586	26,310	3,138
1	0,3	III	4859,853	43,815	36,503	3,656
1	0,3	III	4412,76	36,654	26,304	5,175
1	0,3	III	4510,155	32,108	27,733	2,188
1	0,3	III	4994,884	38,699	30,893	3,903
1	0,3	III	5087,459	37,221	29,924	3,649
1	0,3	III	4365,923	41,621	33,137	4,242
1	0,3	III	5036,623	35,819	28,501	3,659
1	0,3	III	6099,832	35,167	29,409	2,879
1	0,3	III	4592,249	36,226	31,051	2,588
1	0,3	III	6101,135	33,085	27,914	2,586
1	0,3	III	5302,023	31,916	23,821	4,048
1	0,3	III	4423,73	51,228	43,280	3,974
1	0,3	III	4765,271	46,151	38,343	3,904
1	0,3	III	5825,152	29,194	22,904	3,145
1	0,3	III	5493,678	48,822	39,136	4,843
1	0,3	III	4325,615	48,107	39,232	4,438
1	0,3	III	5354,105	35,753	28,251	3,751
1	0,3	III	5379,888	39,437	32,074	3,682
1	0,3	III	6059,387	43,920	37,520	3,200
1	2,3	I	4166,928	33,642	27,367	3,138
1	2,3	I	3828,52	44,811	36,226	4,293
1	2,3	I	4400,921	41,401	35,009	3,196
1	2,3	I	5036,430	51,359	40,884	5,238
1	2,3	I	3766,404	39,636	32,697	3,470
1	2,3	I	3996,360	35,505	29,108	3,199
1	2,3	I	5082,352	52,118	46,073	3,023
1	2,3	I	5019,553	35,345	28,622	3,362

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
1	2,3	I	3966,844	47,218	40,826	3,196
1	2,3	I	3661,524	46,400	36,282	5,059
1	2,3	I	3959,728	41,209	36,382	2,413
1	2,3	I	4381,334	43,167	34,584	4,292
1	2,3	I	3661,972	34,584	25,384	4,600
1	2,3	I	4388,775	55,150	44,472	5,339
1	2,3	I	4271,832	46,593	40,341	3,126
1	2,3	I	3723,135	40,610	31,842	4,384
1	2,3	I	3861,811	49,233	39,425	4,904
1	2,3	I	4272,455	56,132	47,606	4,263
1	2,3	I	3198,624	44,906	37,608	3,649
1	2,3	I	4044,784	40,853	34,584	3,135
1	2,3	I	4509,195	41,496	33,912	3,792
1	2,3	I	4238,980	52,851	47,557	2,647
1	2,3	I	3557,460	38,400	32,152	3,124
1	2,3	I	2839,729	47,164	37,520	4,822
1	2,3	I	3917,120	33,137	23,602	4,768
1	2,3	II	4935,263	41,390	34,820	3,285
1	2,3	II	4458,844	38,760	30,729	4,016
1	2,3	II	5028,873	43,309	32,965	5,172
1	2,3	II	4006,922	45,963	39,136	3,414
1	2,3	II	5413,615	41,469	35,863	2,803
1	2,3	II	4346,971	45,481	35,678	4,902
1	2,3	II	4701,324	36,932	31,177	2,878
1	2,3	II	4160,003	43,948	38,157	2,896
1	2,3	II	5237,612	45,647	37,474	4,087
1	2,3	II	5310,534	46,512	41,187	2,663
1	2,3	II	4589,930	42,719	32,040	5,340
1	2,3	II	4108,083	42,620	37,871	2,375
1	2,3	II	4642,984	41,915	33,773	4,071
1	2,3	II	3325,694	36,262	30,799	2,732
1	2,3	II	4961,113	39,239	32,782	3,229
1	2,3	II	4462,099	44,384	34,448	4,968
1	2,3	II	5034,645	42,298	34,214	4,042
1	2,3	II	5223,170	41,586	32,036	4,775
1	2,3	II	4605,960	55,133	47,444	3,845
1	2,3	II	5300,969	50,188	43,215	3,487
1	2,3	II	4150,426	54,324	45,868	4,228
1	2,3	II	4701,248	45,796	37,948	3,924
1	2,3	II	4116,832	41,218	36,087	2,566
1	2,3	II	4649,600	40,921	33,375	3,773
1	2,3	II	3339,521	44,639	36,323	4,158
1	2,3	III	4649,354	39,039	32,180	3,430
1	2,3	III	5959,718	43,872	36,309	3,782
1	2,3	III	4693,688	48,577	40,952	3,813
1	2,3	III	5020,248	34,421	26,994	3,714
1	2,3	III	4876,350	37,467	30,907	3,280
1	2,3	III	5484,761	47,269	37,975	4,647

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (μm)	Ancho (μm)	Diámetro de lumen (μm)	Espesor de pared (μm)
1	2,3	III	5217,761	38,879	30,292	4,294
1	2,3	III	4341,002	42,431	33,523	4,454
1	2,3	III	4820,992	44,295	35,957	4,169
1	2,3	III	4686,111	34,971	25,338	4,817
1	2,3	III	5968,066	38,471	29,767	4,352
1	2,3	III	4306,114	40,342	32,849	3,747
1	2,3	III	5861,234	39,720	29,780	4,970
1	2,3	III	5186,724	46,351	39,579	3,386
1	2,3	III	6008,418	39,227	32,216	3,506
1	2,3	III	5649,484	49,756	38,652	5,552
1	2,3	III	5803,209	45,160	38,590	3,285
1	2,3	III	5415,317	40,546	31,931	4,308
1	2,3	III	5124,349	28,224	21,776	3,224
1	2,3	III	5692,035	49,777	40,971	4,403
1	2,3	III	5661,700	39,873	31,169	4,352
1	2,3	III	4828,546	46,109	36,207	4,951
1	2,3	III	5656,035	45,911	37,831	4,040
1	2,3	III	4665,925	41,387	33,709	3,839
1	2,3	III	5687,968	34,734	27,107	3,814
1	4,3	I	3691,740	51,234	43,026	4,104
1	4,3	I	3245,921	50,335	46,184	2,076
1	4,3	I	3670,956	51,234	42,967	4,134
1	4,3	I	3095,692	38,352	31,299	3,527
1	4,3	I	3650,215	44,295	37,276	3,510
1	4,3	I	2891,767	46,242	37,895	4,174
1	4,3	I	2756,850	43,344	36,340	3,502
1	4,3	I	3000,590	56,710	51,073	2,819
1	4,3	I	3356,566	39,895	29,686	5,105
1	4,3	I	2925,857	48,430	40,871	3,780
1	4,3	I	3424,286	50,446	42,383	4,032
1	4,3	I	3510,312	38,744	30,162	4,291
1	4,3	I	3273,688	50,388	43,692	3,348
1	4,3	I	3198,643	42,673	36,813	2,930
1	4,3	I	3115,925	40,865	35,601	2,632
1	4,3	I	3025,260	42,046	35,426	3,310
1	4,3	I	2600,381	40,653	34,587	3,033
1	4,3	I	2761,340	32,054	25,202	3,426
1	4,3	I	3452,454	45,911	39,848	3,032
1	4,3	I	2650,060	42,034	36,396	2,819
1	4,3	I	3767,260	48,496	43,543	2,477
1	4,3	I	2481,956	37,061	30,696	3,183
1	4,3	I	3355,898	48,663	39,376	4,644
1	4,3	I	3695,359	47,815	43,753	2,031
1	4,3	I	3493,965	43,657	36,529	3,564
1	4,3	II	5686,941	42,070	34,734	3,668
1	4,3	II	4926,334	39,139	33,390	2,875
1	4,3	II	4962,717	37,143	30,359	3,392
1	4,3	II	4838,089	40,719	33,023	3,848

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
1	4,3	II	5358,173	41,580	33,241	4,170
1	4,3	II	5846,187	46,228	39,501	3,364
1	4,3	II	5549,479	44,304	34,414	4,945
1	4,3	II	5686,938	34,414	27,641	3,387
1	4,3	II	4803,168	53,942	48,040	2,951
1	4,3	II	5653,504	54,542	48,976	2,783
1	4,3	II	5686,944	40,035	35,007	2,514
1	4,3	II	5722,100	35,300	30,258	2,521
1	4,3	II	5298,379	39,556	32,698	3,429
1	4,3	II	4261,203	48,797	42,443	3,177
1	4,3	II	6031,022	27,970	22,780	2,595
1	4,3	II	5434,729	43,869	37,439	3,215
1	4,3	II	3546,380	35,890	27,084	4,403
1	4,3	II	4660,126	46,775	41,791	2,492
1	4,3	II	5659,278	45,597	39,720	2,939
1	4,3	II	4693,775	39,012	33,375	2,819
1	4,3	II	5659,188	48,953	40,747	4,103
1	4,3	II	5452,068	49,815	42,813	3,501
1	4,3	II	4548,568	44,204	38,112	3,046
1	4,3	II	3751,161	41,397	33,818	3,790
1	4,3	II	4099,231	37,939	28,309	4,815
1	6,3	I	3278,333	42,765	33,705	4,530
1	6,3	I	2805,281	52,639	45,510	3,565
1	6,3	I	3786,454	48,349	42,718	2,816
1	6,3	I	3598,381	35,203	29,454	2,875
1	6,3	I	3178,004	34,690	27,847	3,422
1	6,3	I	3201,025	52,914	44,284	4,315
1	6,3	I	3265,584	55,017	45,927	4,545
1	6,3	I	3630,679	50,557	41,973	4,292
1	6,3	I	3309,398	45,353	37,225	4,064
1	6,3	I	3085,602	42,872	36,823	3,025
1	6,3	I	3776,966	41,733	36,591	2,571
1	6,3	I	3631,956	48,640	40,821	3,910
1	6,3	I	2953,989	45,286	39,550	2,868
1	6,3	I	2920,057	51,799	42,287	4,756
1	6,3	I	3048,986	55,571	46,600	4,486
1	6,3	I	3420,067	56,618	51,618	2,500
1	6,3	I	3014,089	39,382	31,328	4,027
1	6,3	I	3604,780	39,334	30,960	4,187
1	6,3	I	3268,494	30,338	21,723	4,308
1	6,3	I	3404,913	46,937	38,672	4,133
1	6,3	I	3348,080	43,076	35,516	3,780
1	6,3	I	3743,837	56,746	50,728	3,009
1	6,3	I	3495,635	40,980	34,125	3,428
1	6,3	I	4118,100	41,632	34,909	3,362
1	6,3	I	3279,297	51,914	45,362	3,276
1	6,3	II	4081,127	43,522	37,208	3,157
1	6,3	II	3493,642	43,750	35,630	4,060

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
1	6,3	II	5138,403	42,194	34,854	3,670
1	6,3	II	5688,744	45,560	37,480	4,040
1	6,3	II	4555,987	44,809	37,791	3,509
1	6,3	II	4536,853	44,850	34,851	4,999
1	6,3	II	4280,096	38,830	32,779	3,026
1	6,3	II	4946,623	43,718	35,087	4,316
1	6,3	II	4516,250	40,452	31,867	4,293
1	6,3	II	5168,402	55,349	45,786	4,782
1	6,3	II	4655,525	40,342	33,485	3,429
1	6,3	II	5057,575	44,536	36,224	4,156
1	6,3	II	4969,693	38,656	31,651	3,503
1	6,3	II	5485,667	45,013	34,818	5,098
1	6,3	II	4882,839	39,411	31,931	3,740
1	6,3	II	4709,409	52,368	43,473	4,448
1	6,3	II	5299,929	43,935	37,801	3,067
1	6,3	II	4250,354	45,148	37,831	3,659
1	6,3	II	4655,963	40,821	30,895	4,963
1	6,3	II	3542,692	38,036	31,799	3,119
1	6,3	II	4094,040	32,930	26,801	3,065
1	6,3	II	5314,271	39,720	29,510	5,105
1	6,3	II	5489,115	42,658	36,508	3,075
1	6,3	II	4376,207	46,480	38,166	4,157
1	6,3	II	3848,738	34,057	27,966	3,046
2	0,3	I	3311,245	35,544	26,725	4,410
2	0,3	I	3315,547	31,189	23,918	3,636
2	0,3	I	3975,296	30,993	22,192	4,401
2	0,3	I	3418,466	33,485	27,747	2,869
2	0,3	I	3684,309	34,087	25,957	4,065
2	0,3	I	2952,818	28,309	20,226	4,042
2	0,3	I	3813,566	26,624	19,865	3,380
2	0,3	I	2968,490	32,054	25,513	3,271
2	0,3	I	3137,814	29,146	20,169	4,489
2	0,3	I	3467,781	38,524	30,559	3,983
2	0,3	I	3546,217	26,857	20,790	3,034
2	0,3	I	2866,661	36,813	29,250	3,782
2	0,3	I	3586,926	40,846	31,263	4,792
2	0,3	I	3092,904	33,516	24,958	4,279
2	0,3	I	3485,317	33,844	25,795	4,025
2	0,3	I	3104,874	26,853	18,465	4,194
2	0,3	I	3622,427	31,783	23,244	4,270
2	0,3	I	3452,628	37,659	27,289	5,185
2	0,3	I	3166,544	33,080	24,810	4,135
2	0,3	I	3277,062	39,450	30,363	4,544
2	0,3	I	3485,554	32,717	25,040	3,839
2	0,3	I	3014,500	37,112	29,146	3,983
2	0,3	I	3260,407	33,648	26,644	3,502
2	0,3	I	3250,295	43,831	33,241	5,295
2	0,3	I	2999,142	40,279	31,477	4,401

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
2	0,3	II	4639,720	37,872	28,278	4,797
2	0,3	II	4114,307	44,218	34,024	5,097
2	0,3	II	4144,005	42,070	33,264	4,403
2	0,3	II	4457,306	46,063	35,426	5,319
2	0,3	II	5176,375	53,292	41,690	5,801
2	0,3	II	4165,524	44,516	34,321	5,098
2	0,3	II	4676,711	34,982	27,774	3,604
2	0,3	II	4626,431	41,982	34,971	3,506
2	0,3	II	4867,823	36,224	25,438	5,393
2	0,3	II	5004,145	36,667	25,338	5,665
2	0,3	II	5980,511	44,204	33,375	5,415
2	0,3	II	4284,399	42,058	34,099	3,980
2	0,3	II	4140,806	43,671	36,406	3,633
2	0,3	II	3906,948	42,218	34,336	3,941
2	0,3	II	4920,392	36,896	29,315	3,791
2	0,3	II	4029,644	34,087	27,084	3,502
2	0,3	II	4693,694	42,845	34,730	4,058
2	0,3	II	5424,956	36,108	26,438	4,835
2	0,3	II	4186,105	37,794	31,675	3,060
2	0,3	II	4032,449	48,032	39,914	4,059
2	0,3	II	4211,008	42,073	31,735	5,169
2	0,3	II	4617,159	41,397	34,347	3,525
2	0,3	II	4572,244	38,524	31,185	3,670
2	0,3	II	4540,343	35,473	25,839	4,817
2	0,3	II	4926,885	40,380	32,070	4,155
2	0,3	III	3713,296	52,849	43,473	4,688
2	0,3	III	3861,564	48,784	38,839	4,973
2	0,3	III	5125,831	47,679	40,821	3,429
2	0,3	III	4006,818	46,753	36,709	5,022
2	0,3	III	5083,168	41,961	33,375	4,293
2	0,3	III	4178,204	42,383	33,295	4,544
2	0,3	III	4610,330	43,317	36,098	3,610
2	0,3	III	5688,979	38,352	28,746	4,803
2	0,3	III	4491,571	49,459	42,242	3,609
2	0,3	III	4907,687	44,476	36,508	3,984
2	0,3	III	4671,148	36,151	26,418	4,867
2	0,3	III	4928,366	35,890	29,133	3,379
2	0,3	III	5248,987	44,752	36,643	4,055
2	0,3	III	3703,241	41,218	30,825	5,197
2	0,3	III	4550,083	43,987	36,312	3,838
2	0,3	III	5060,978	41,489	34,466	3,512
2	0,3	III	4511,713	54,301	42,530	5,886
2	0,3	III	5917,497	44,979	38,375	3,302
2	0,3	III	5122,564	46,881	38,748	4,067
2	0,3	III	5111,314	35,833	27,027	4,403
2	0,3	III	5282,800	47,647	39,382	4,133
2	0,3	III	5476,073	33,788	25,217	4,286
2	0,3	III	5350,125	39,043	27,433	5,805

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
2	0,3	III	5802,444	44,820	32,698	6,061
2	0,3	III	5212,117	37,399	31,328	3,036
2	2,3	I	3647,299	50,950	44,888	3,031
2	2,3	I	3199,474	40,672	33,176	3,748
2	2,3	I	3342,319	53,499	45,786	3,857
2	2,3	I	4323,590	40,370	33,241	3,565
2	2,3	I	3898,089	38,944	31,364	3,790
2	2,3	I	3273,644	35,116	26,667	4,225
2	2,3	I	3429,351	52,182	46,458	2,862
2	2,3	I	4091,422	50,656	41,401	4,628
2	2,3	I	3832,250	44,951	36,628	4,162
2	2,3	I	3298,417	46,508	38,699	3,905
2	2,3	I	3938,626	42,193	34,570	3,812
2	2,3	I	3715,793	51,522	41,011	5,256
2	2,3	I	4237,606	35,368	29,755	2,807
2	2,3	I	3462,708	44,737	37,638	3,550
2	2,3	I	4448,544	33,194	26,094	3,550
2	2,3	I	4087,437	34,282	26,304	3,989
2	2,3	I	3141,157	52,393	46,441	2,976
2	2,3	I	3942,300	39,087	32,270	3,409
2	2,3	I	3452,220	43,353	33,796	4,779
2	2,3	I	4002,956	53,593	44,062	4,766
2	2,3	I	3583,311	43,483	37,759	2,862
2	2,3	I	3062,230	35,434	28,251	3,592
2	2,3	I	3184,523	37,323	31,051	3,136
2	2,3	I	4390,370	38,046	32,523	2,762
2	2,3	I	3919,915	43,498	36,928	3,285
2	2,3	II	4685,606	52,540	46,141	3,200
2	2,3	II	4151,486	44,800	38,400	3,200
2	2,3	II	5349,909	51,093	43,797	3,648
2	2,3	II	4507,968	52,012	44,709	3,652
2	2,3	II	4958,615	39,917	33,137	3,390
2	2,3	II	4949,064	54,633	47,874	3,380
2	2,3	II	5033,841	54,494	46,863	3,816
2	2,3	II	5251,962	50,309	41,172	4,569
2	2,3	II	4169,504	59,844	51,912	3,966
2	2,3	II	3556,842	38,046	30,750	3,648
2	2,3	II	5210,542	35,041	25,384	4,829
2	2,3	II	5376,623	48,287	40,652	3,818
2	2,3	II	4508,945	39,636	31,723	3,957
2	2,3	II	4047,307	47,154	40,980	3,087
2	2,3	II	5262,498	44,472	39,393	2,540
2	2,3	II	5277,815	35,345	29,172	3,087
2	2,3	II	3928,639	43,225	36,490	3,368
2	2,3	II	5482,576	59,364	50,229	4,568
2	2,3	II	5655,668	50,160	39,312	5,424
2	2,3	II	4238,329	45,636	35,523	5,057
2	2,3	II	4700,821	44,993	36,654	4,170

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
2	2,3	II	4615,641	54,494	48,423	3,036
2	2,3	II	4694,982	43,189	34,901	4,144
2	2,3	II	5323,713	47,656	40,106	3,775
2	2,3	II	4970,230	48,744	41,435	3,655
2	2,3	III	5195,762	57,421	47,777	4,822
2	2,3	III	4589,688	53,077	44,034	4,522
2	2,3	III	5148,644	51,909	45,137	3,386
2	2,3	III	6118,822	42,069	31,951	5,059
2	2,3	III	5572,644	45,809	35,368	5,221
2	2,3	III	5966,726	54,103	44,769	4,667
2	2,3	III	5937,799	42,234	33,754	4,240
2	2,3	III	4853,441	47,218	39,921	3,649
2	2,3	III	4990,698	48,365	39,508	4,429
2	2,3	III	6352,390	48,110	39,059	4,526
2	2,3	III	5309,235	46,806	39,437	3,685
2	2,3	III	5871,716	42,252	32,663	4,795
2	2,3	III	6024,416	50,830	42,103	4,364
2	2,3	III	6048,958	48,251	39,964	4,144
2	2,3	III	5733,774	48,541	37,655	5,443
2	2,3	III	5147,370	51,213	44,433	3,390
2	2,3	III	4875,693	50,597	40,485	5,056
2	2,3	III	4887,657	35,023	24,299	5,362
2	2,3	III	4982,115	49,208	39,441	4,884
2	2,3	III	4304,804	49,015	39,889	4,563
2	2,3	III	5484,228	40,980	31,177	4,902
2	2,3	III	6114,363	48,793	42,013	3,390
2	2,3	III	4652,440	48,822	40,884	3,969
2	2,3	III	5461,443	46,223	35,523	5,350
2	2,3	III	4348,735	44,461	35,731	4,365
2	4,3	I	3114,219	54,598	46,427	4,086
2	4,3	I	4021,383	56,693	47,712	4,491
2	4,3	I	4086,262	57,944	50,309	3,818
2	4,3	I	3519,832	44,867	36,121	4,373
2	4,3	I	3869,868	43,743	35,806	3,969
2	4,3	I	3756,514	49,882	44,557	2,663
2	4,3	I	3789,976	51,642	43,783	3,930
2	4,3	I	3382,446	37,005	31,931	2,537
2	4,3	I	4144,521	54,518	48,120	3,199
2	4,3	I	3453,690	56,926	48,586	4,170
2	4,3	I	3000,703	46,264	37,390	4,437
2	4,3	I	3562,865	43,335	35,162	4,087
2	4,3	I	3683,614	55,241	45,443	4,899
2	4,3	I	3578,834	53,491	49,463	2,014
2	4,3	I	3885,748	52,159	42,013	5,073
2	4,3	I	3137,350	58,445	51,157	3,644
2	4,3	I	3793,978	48,886	43,254	2,816
2	4,3	I	3020,367	43,833	38,112	2,861
2	4,3	I	3881,354	46,069	37,726	4,172

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
2	4,3	I	3307,653	58,028	51,248	3,390
2	4,3	I	3818,273	53,620	46,481	3,570
2	4,3	I	3318,115	53,758	43,454	5,152
2	4,3	I	3012,513	37,759	31,419	3,170
2	4,3	I	3305,607	57,955	48,267	4,844
2	4,3	I	3981,175	52,350	44,518	3,916
2	4,3	II	4611,509	56,705	51,093	2,806
2	4,3	II	4095,683	40,294	33,726	3,284
2	4,3	II	4255,897	42,219	32,894	4,663
2	4,3	II	3758,561	54,190	47,368	3,411
2	4,3	II	4416,088	47,074	41,983	2,546
2	4,3	II	4685,015	42,719	35,964	3,378
2	4,3	II	4373,716	46,114	38,796	3,659
2	4,3	II	4870,581	42,174	34,144	4,015
2	4,3	II	4630,855	40,184	33,426	3,379
2	4,3	II	5138,538	44,525	35,964	4,281
2	4,3	II	4743,521	49,540	39,421	5,060
2	4,3	II	4458,524	36,705	28,156	4,275
2	4,3	II	4475,976	34,897	25,606	4,646
2	4,3	II	4037,172	49,352	41,007	4,173
2	4,3	II	4948,540	46,997	40,243	3,377
2	4,3	II	4571,019	36,204	28,688	3,758
2	4,3	II	4384,659	42,958	35,023	3,968
2	4,3	II	4417,398	39,584	32,663	3,461
2	4,3	II	3772,156	44,483	34,552	4,966
2	4,3	II	4728,243	45,661	38,046	3,808
2	4,3	II	4250,803	45,661	37,318	4,172
2	4,3	II	4957,203	42,549	36,915	2,817
2	4,3	II	3436,048	39,393	32,547	3,423
2	4,3	II	4165,704	37,675	30,358	3,659
2	4,3	II	4657,469	40,078	34,465	2,807
2	6,3	I	3301,588	36,108	29,724	3,192
2	6,3	I	3422,491	35,652	30,524	2,564
2	6,3	I	3499,966	56,718	50,671	3,024
2	6,3	I	3476,676	50,206	44,433	2,887
2	6,3	I	3329,174	42,793	37,713	2,540
2	6,3	I	3487,967	39,232	33,628	2,802
2	6,3	I	3787,711	54,806	47,795	3,506
2	6,3	I	3424,116	42,442	35,872	3,285
2	6,3	I	3689,826	49,015	42,973	3,021
2	6,3	I	3515,753	53,097	47,378	2,860
2	6,3	I	3591,695	49,692	43,309	3,192
2	6,3	I	3496,835	58,491	52,970	2,761
2	6,3	I	3791,461	51,690	44,962	3,364
2	6,3	I	3633,152	39,763	32,484	3,640
2	6,3	I	3155,019	59,586	51,771	3,908
2	6,3	I	3410,007	55,412	48,586	3,413
2	6,3	I	3459,473	47,378	41,313	3,033

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
2	6,3	I	3651,115	51,535	44,993	3,271
2	6,3	I	3583,056	41,844	35,023	3,411
2	6,3	I	3356,592	49,733	40,865	4,434
2	6,3	I	3644,736	40,196	33,232	3,482
2	6,3	I	3386,202	38,157	31,379	3,389
2	6,3	I	3184,505	43,725	36,966	3,380
2	6,3	I	3642,057	50,531	44,344	3,094
2	6,3	I	3815,533	40,184	35,434	2,375
2	6,3	II	5594,273	42,364	35,045	3,660
2	6,3	II	5824,914	54,205	47,264	3,471
2	6,3	II	4724,835	44,227	36,421	3,903
2	6,3	II	5721,422	46,573	39,632	3,471
2	6,3	II	4864,234	45,185	38,408	3,389
2	6,3	II	5867,635	55,831	47,897	3,967
2	6,3	II	5422,405	28,765	23,441	2,662
2	6,3	II	5813,158	54,306	45,255	4,526
2	6,3	II	5025,212	45,647	39,787	2,930
2	6,3	II	4804,602	50,783	42,973	3,905
2	6,3	II	4725,05	47,923	41,723	3,100
2	6,3	II	4389,906	54,205	43,718	5,244
2	6,3	II	4547,801	47,007	39,636	3,686
2	6,3	II	4063,878	38,747	32,600	3,074
2	6,3	II	5123,989	57,161	49,358	3,902
2	6,3	II	4508,45	44,263	35,009	4,627
2	6,3	II	4427,88	46,049	40,493	2,778
2	6,3	II	5219,453	46,620	39,329	3,646
2	6,3	II	3708,226	53,432	45,554	3,939
2	6,3	II	4916,284	46,305	36,003	5,151
2	6,3	II	4843,836	43,178	37,318	2,930
2	6,3	II	5908,866	43,833	37,558	3,138
2	6,3	II	4267,409	47,047	36,936	5,056
2	6,3	II	4211,806	50,960	41,674	4,643
2	6,3	II	5676,246	48,423	39,296	4,564
3	0,3	I	2468,059	42,992	38,793	2,100
3	0,3	I	2834,371	34,113	28,451	2,831
3	0,3	I	3071,904	33,338	26,004	3,667
3	0,3	I	2966,283	33,589	28,242	2,674
3	0,3	I	3177,214	41,214	33,834	3,690
3	0,3	I	2999,885	35,027	27,173	3,927
3	0,3	I	2707,351	37,801	30,335	3,733
3	0,3	I	2651,108	26,042	21,079	2,482
3	0,3	I	3053,825	33,548	26,226	3,661
3	0,3	I	2971,254	37,116	29,406	3,855
3	0,3	I	2676,303	26,042	17,091	4,476
3	0,3	I	3039,278	36,262	26,141	5,061
3	0,3	I	3157,179	34,882	27,965	3,459
3	0,3	I	2355,509	37,762	29,322	4,220
3	0,3	I	2421,612	26,066	20,701	2,683

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
3	0,3	I	2514,933	37,335	29,577	3,879
3	0,3	I	3276,895	27,278	19,428	3,925
3	0,3	I	2700,627	33,412	25,327	4,043
3	0,3	I	2911,599	29,334	20,891	4,222
3	0,3	I	3707,093	37,778	28,224	4,777
3	0,3	I	2691,152	29,511	22,853	3,329
3	0,3	I	2842,802	38,013	29,511	4,251
3	0,3	I	2458,959	35,558	27,552	4,003
3	0,3	I	2704,237	30,008	20,365	4,822
3	0,3	I	2834,334	33,412	27,431	2,991
3	0,3	II	3728,151	36,040	29,140	3,450
3	0,3	II	3730,327	37,729	29,406	4,162
3	0,3	II	2886,774	40,211	32,358	3,927
3	0,3	II	4261,824	36,839	30,400	3,220
3	0,3	II	3179,038	37,552	26,530	5,511
3	0,3	II	3935,894	32,902	24,221	4,341
3	0,3	II	4317,149	45,319	34,786	5,267
3	0,3	II	3789,116	34,008	24,027	4,991
3	0,3	II	3628,645	39,252	31,308	3,972
3	0,3	II	3697,413	47,361	36,745	5,308
3	0,3	II	3782,328	34,426	27,046	3,690
3	0,3	II	3350,323	40,650	30,213	5,219
3	0,3	II	3966,559	34,857	26,400	4,229
3	0,3	II	3765,616	48,820	39,336	4,742
3	0,3	II	3159,425	33,808	26,789	3,510
3	0,3	II	3691,266	31,134	23,281	3,927
3	0,3	II	4075,215	40,063	32,680	3,692
3	0,3	II	3733,042	46,871	40,513	3,179
3	0,3	II	3462,213	35,558	28,224	3,667
3	0,3	II	3434,293	39,063	29,204	4,930
3	0,3	II	4393,953	42,914	32,236	5,339
3	0,3	II	3249,161	42,871	33,412	4,730
3	0,3	II	3045,133	33,234	25,723	3,756
3	0,3	II	3741,235	34,330	25,351	4,490
3	0,3	II	3738,806	32,472	25,506	3,483
3	0,3	III	4207,359	42,727	32,831	4,948
3	0,3	III	4864,874	42,638	34,630	4,004
3	0,3	III	3845,395	38,217	28,172	5,023
3	0,3	III	5034,054	43,155	33,026	5,065
3	0,3	III	4952,076	39,689	28,172	5,759
3	0,3	III	4915,988	38,576	30,723	3,927
3	0,3	III	4916,808	39,393	31,177	4,108
3	0,3	III	4356,608	36,719	28,710	4,005
3	0,3	III	3606,29	39,039	27,498	5,771
3	0,3	III	4482,596	42,432	32,502	4,965
3	0,3	III	4625,627	28,524	20,671	3,927
3	0,3	III	4807,845	44,617	35,831	4,393
3	0,3	III	5106,297	43,361	33,234	5,064

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
3	0,3	III	4623,552	46,732	36,255	5,238
3	0,3	III	3596,595	36,665	28,524	4,071
3	0,3	III	4843,724	36,313	30,020	3,147
3	0,3	III	4841,114	39,148	33,379	2,885
3	0,3	III	4327,667	39,850	30,719	4,566
3	0,3	III	4130,614	33,511	24,257	4,627
3	0,3	III	4713,316	32,684	25,453	3,616
3	0,3	III	4037,658	47,724	39,764	3,980
3	0,3	III	3976,311	42,727	34,401	4,163
3	0,3	III	3986,342	32,917	23,429	4,744
3	0,3	III	3910,619	41,450	32,680	4,385
3	0,3	III	3681,747	48,353	40,501	3,926
3	2,3	I	3377,734	24,660	17,909	3,376
3	2,3	I	2796,641	35,072	29,039	3,017
3	2,3	I	3637,241	34,304	24,252	5,026
3	2,3	I	3697,473	34,304	27,833	3,236
3	2,3	I	3151,419	55,492	49,170	3,161
3	2,3	I	3446,655	43,768	36,876	3,446
3	2,3	I	3217,156	35,541	29,769	2,886
3	2,3	I	2931,464	41,539	34,857	3,341
3	2,3	I	2901,712	38,964	31,734	3,615
3	2,3	I	3303,948	41,333	35,276	3,029
3	2,3	I	3449,187	34,587	28,071	3,258
3	2,3	I	3020,699	33,204	26,287	3,459
3	2,3	I	2983,141	40,838	34,875	2,982
3	2,3	I	3123,057	48,381	43,508	2,437
3	2,3	I	3352,073	40,208	32,876	3,666
3	2,3	I	4001,352	43,847	36,839	3,504
3	2,3	I	3839,731	38,659	31,276	3,692
3	2,3	I	3796,143	41,973	35,234	3,370
3	2,3	I	3409,847	31,371	23,154	4,109
3	2,3	I	3383,674	38,793	32,055	3,369
3	2,3	I	3249,054	47,397	40,036	3,681
3	2,3	I	3085,421	42,649	35,986	3,332
3	2,3	I	2860,799	30,655	23,276	3,690
3	2,3	I	2683,575	25,293	19,948	2,673
3	2,3	I	2965,605	39,996	32,767	3,615
3	2,3	II	4366,597	41,109	34,900	3,105
3	2,3	II	4406,745	50,734	42,880	3,927
3	2,3	II	4204,841	48,243	41,274	3,485
3	2,3	II	4274,084	50,144	43,395	3,375
3	2,3	II	3621,283	47,561	39,339	4,111
3	2,3	II	4289,549	53,726	44,772	4,477
3	2,3	II	4391,036	51,999	42,854	4,573
3	2,3	II	4191,933	60,657	52,633	4,012
3	2,3	II	4638,421	54,128	47,447	3,341
3	2,3	II	4567,722	41,808	34,214	3,797
3	2,3	II	3080,688	42,105	33,779	4,163

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
3	2,3	II	4118,408	48,881	42,219	3,331
3	2,3	II	4588,903	41,238	33,156	4,041
3	2,3	II	4608,734	44,231	37,762	3,235
3	2,3	II	4613,986	51,742	42,292	4,725
3	2,3	II	4726,823	48,739	41,274	3,733
3	2,3	II	4137,918	41,497	34,484	3,507
3	2,3	II	4983,766	40,281	32,797	3,742
3	2,3	II	3984,912	39,440	28,537	5,452
3	2,3	II	3519,807	43,520	36,160	3,680
3	2,3	II	4018,704	40,045	33,724	3,161
3	2,3	II	4238,610	38,964	30,639	4,163
3	2,3	II	4297,330	44,091	34,044	5,024
3	2,3	II	4135,690	57,703	51,247	3,228
3	2,3	II	4302,356	46,976	40,647	3,165
3	2,3	III	4657,858	42,219	35,464	3,378
3	2,3	III	5029,041	36,719	30,497	3,111
3	2,3	III	4927,448	33,783	29,204	2,290
3	2,3	III	4361,512	38,745	31,792	3,477
3	2,3	III	4737,642	34,534	27,476	3,529
3	2,3	III	5174,926	45,739	39,267	3,236
3	2,3	III	4519,425	56,654	49,321	3,667
3	2,3	III	4249,135	42,199	35,886	3,157
3	2,3	III	5303,378	42,510	36,289	3,111
3	2,3	III	4664,194	56,779	50,153	3,313
3	2,3	III	4190,508	42,356	34,214	4,071
3	2,3	III	5165,731	33,282	26,826	3,228
3	2,3	III	4425,058	33,577	24,027	4,775
3	2,3	III	3286,967	52,153	43,312	4,421
3	2,3	III	3980,36	36,668	31,118	2,775
3	2,3	III	4028,165	40,765	31,276	4,745
3	2,3	III	3635,167	47,039	38,554	4,243
3	2,3	III	4575,448	35,297	29,322	2,988
3	2,3	III	4775,292	44,772	38,793	2,990
3	2,3	III	4606,897	41,402	32,036	4,683
3	2,3	III	4015,286	43,780	36,668	3,556
3	2,3	III	3922,424	40,134	31,990	4,072
3	2,3	III	3877,839	49,714	42,615	3,550
3	2,3	III	4140,676	29,987	22,439	3,774
3	2,3	III	4205,524	56,241	46,395	4,923
3	4,3	I	3093,864	48,435	40,428	4,004
3	4,3	I	3285,295	59,315	50,860	4,228
3	4,3	I	3373,009	60,867	52,424	4,222
3	4,3	I	3690,844	43,190	34,254	4,468
3	4,3	I	3608,057	49,761	38,888	5,437
3	4,3	I	3104,207	44,923	35,972	4,476
3	4,3	I	3611,724	36,095	29,343	3,376
3	4,3	I	3349,821	52,755	46,222	3,267
3	4,3	I	3175,577	42,432	37,542	2,445

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
3	4,3	I	3434,403	46,895	40,235	3,330
3	4,3	I	3620,505	65,392	56,162	4,615
3	4,3	I	3226,010	56,730	49,351	3,690
3	4,3	I	3146,681	48,608	42,152	3,228
3	4,3	I	3258,375	40,060	34,247	2,907
3	4,3	I	3275,198	40,650	32,392	4,129
3	4,3	I	2507,394	49,535	39,983	4,776
3	4,3	I	2582,660	48,851	40,367	4,242
3	4,3	I	2618,251	59,971	51,282	4,345
3	4,3	I	3202,199	44,697	38,207	3,245
3	4,3	I	3331,691	61,752	53,427	4,163
3	4,3	I	3334,974	54,422	47,092	3,665
3	4,3	I	3217,839	34,687	27,114	3,787
3	4,3	I	3651,867	33,779	26,826	3,477
3	4,3	I	3586,743	55,603	48,220	3,692
3	4,3	I	3653,257	39,586	31,734	3,926
3	4,3	II	5065,370	35,610	27,588	4,011
3	4,3	II	3950,642	33,204	24,720	4,242
3	4,3	II	4352,16	39,813	31,308	4,253
3	4,3	II	3985,243	59,425	51,716	3,855
3	4,3	II	4597,699	43,825	36,378	3,724
3	4,3	II	4854,730	59,911	50,157	4,877
3	4,3	II	4143,926	58,130	50,697	3,717
3	4,3	II	4536,575	60,477	53,098	3,690
3	4,3	II	3318,235	59,893	51,703	4,095
3	4,3	II	3302,345	51,198	44,454	3,372
3	4,3	II	4913,320	46,700	38,258	4,221
3	4,3	II	4453,319	46,046	37,371	4,338
3	4,3	II	4855,20393	48,241	38,965	4,638
3	4,3	II	4297,512	52,551	42,618	4,967
3	4,3	II	3809,010	43,489	36,262	3,614
3	4,3	II	4157,368	59,531	50,468	4,532
3	4,3	II	4973,897	57,722	47,882	4,920
3	4,3	II	4111,059	54,137	43,979	5,079
3	4,3	II	4632,118	56,239	49,195	3,522
3	4,3	II	4469,053	57,419	47,186	5,117
3	4,3	II	3670,139	40,647	32,381	4,133
3	4,3	II	4373,941	45,989	38,888	3,551
3	4,3	II	4494,08	50,412	40,428	4,992
3	4,3	II	4370,744	52,279	42,292	4,993
3	4,3	II	4159,476	57,552	51,102	3,225
3	6,3	I	3277,008	47,951	42,406	2,773
3	6,3	I	3061,275	50,585	44,303	3,141
3	6,3	I	3425,269	39,289	33,808	2,741
3	6,3	I	2943,008	57,180	49,583	3,799
3	6,3	I	3540,206	38,022	30,943	3,540
3	6,3	I	2822,598	36,313	30,811	2,751
3	6,3	I	2489,382	40,671	34,012	3,330

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
3	6,3	I	3025,999	35,464	29,217	3,124
3	6,3	I	3623,063	43,055	34,984	4,036
3	6,3	I	2872,638	42,199	36,920	2,640
3	6,3	I	2779,892	39,126	34,247	2,440
3	6,3	I	2389,741	39,100	31,118	3,991
3	6,3	I	2834,505	38,477	32,117	3,180
3	6,3	I	2568,224	40,501	35,610	2,446
3	6,3	I	3105,632	39,242	34,276	2,483
3	6,3	I	2639,515	41,796	37,236	2,280
3	6,3	I	2877,266	53,756	48,228	2,764
3	6,3	I	2703,963	36,506	29,343	3,582
3	6,3	I	3209,780	43,130	34,562	4,284
3	6,3	I	3011,316	46,745	39,034	3,856
3	6,3	I	3079,825	41,657	34,984	3,337
3	6,3	I	3104,628	42,324	35,279	3,523
3	6,3	I	3175,605	37,398	30,497	3,451
3	6,3	I	2528,974	30,164	21,219	4,473
3	6,3	I	2737,910	40,449	32,887	3,781
3	6,3	II	3226,456	49,679	40,036	4,822
3	6,3	II	3657,084	41,985	35,852	3,067
3	6,3	II	3769,941	43,497	35,931	3,783
3	6,3	II	3439,367	37,595	30,843	3,376
3	6,3	II	4095,641	34,448	27,114	3,667
3	6,3	II	3536,759	53,645	46,692	3,477
3	6,3	II	3718,324	30,445	25,569	2,438
3	6,3	II	3974,861	40,732	31,932	4,400
3	6,3	II	2988,489	52,389	43,904	4,243
3	6,3	II	3820,773	40,211	32,358	3,927
3	6,3	II	3873,524	43,870	38,554	2,658
3	6,3	II	3687,078	58,306	49,632	4,337
3	6,3	II	3678,805	44,978	37,595	3,692
3	6,3	II	3791,278	43,937	35,150	4,394
3	6,3	II	4155,101	44,473	39,427	2,523
3	6,3	II	4245,167	33,515	26,400	3,558
3	6,3	II	3676,758	39,393	31,885	3,754
3	6,3	II	3854,000	54,578	48,435	3,072
3	6,3	II	3677,375	40,245	32,105	4,070
3	6,3	II	3631,572	45,707	38,659	3,524
3	6,3	II	3993,446	47,848	40,094	3,877
3	6,3	II	3908,404	37,778	30,667	3,556
3	6,3	II	3788,905	54,555	47,447	3,554
3	6,3	II	3803,048	42,568	36,530	3,019
3	6,3	II	3678,996	32,468	24,705	3,882
4	0,3	I	2811,383	29,511	21,085	4,213
4	0,3	I	2989,240	32,105	25,351	3,377
4	0,3	I	3530,369	32,289	24,343	3,973
4	0,3	I	2754,973	36,829	28,834	3,998
4	0,3	I	3262,122	34,214	24,434	4,890

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	0,3	I	3471,378	33,201	23,660	4,771
4	0,3	I	3403,689	38,197	29,039	4,579
4	0,3	I	3625,921	34,401	24,959	4,721
4	0,3	I	3077,012	31,292	24,338	3,477
4	0,3	I	2918,507	44,956	35,122	4,917
4	0,3	I	2900,146	33,312	25,928	3,692
4	0,3	I	2871,245	36,472	30,250	3,111
4	0,3	I	3132,063	33,779	29,217	2,281
4	0,3	I	3575,516	32,831	26,549	3,141
4	0,3	I	3601,846	26,748	19,371	3,689
4	0,3	I	3708,653	31,590	24,358	3,616
4	0,3	I	4299,906	28,503	22,152	3,176
4	0,3	I	3736,096	34,373	27,318	3,528
4	0,3	I	2900,682	32,925	25,487	3,719
4	0,3	I	3483,719	30,020	22,789	3,616
4	0,3	I	3160,539	38,863	29,711	4,576
4	0,3	I	4192,296	33,779	24,191	4,794
4	0,3	I	3070,797	33,928	26,075	3,927
4	0,3	I	3336,030	30,811	24,720	3,046
4	0,3	I	3552,077	42,438	33,486	4,476
4	0,3	II	4361,710	35,548	28,451	3,549
4	0,3	II	3887,926	37,870	30,164	3,853
4	0,3	II	5085,644	38,758	29,389	4,685
4	0,3	II	3906,195	42,733	34,715	4,009
4	0,3	II	4242,894	33,204	25,463	3,871
4	0,3	II	3929,963	33,790	26,679	3,556
4	0,3	II	4245,722	37,595	29,153	4,221
4	0,3	II	4329,116	41,488	33,223	4,133
4	0,3	II	4768,118	35,436	26,748	4,344
4	0,3	II	4300,179	34,362	25,409	4,477
4	0,3	II	3912,202	32,009	25,699	3,155
4	0,3	II	4031,733	43,315	34,875	4,220
4	0,3	II	3923,272	32,801	24,535	4,133
4	0,3	II	4306,517	37,341	29,773	3,784
4	0,3	II	4590,504	38,022	30,172	3,925
4	0,3	II	4074,657	36,506	27,965	4,271
4	0,3	II	4373,599	35,499	28,272	3,614
4	0,3	II	4588,066	35,766	25,771	4,998
4	0,3	II	4067,165	41,832	31,978	4,927
4	0,3	II	4135,771	39,025	29,536	4,745
4	0,3	II	4288,916	40,294	29,389	5,453
4	0,3	II	4276,793	36,530	28,932	3,799
4	0,3	II	4122,562	42,670	35,108	3,781
4	0,3	II	4616,576	37,713	31,035	3,339
4	0,3	II	4552,023	40,959	30,237	5,361
4	0,3	III	4394,695	37,634	26,479	5,578
4	0,3	III	4329,668	38,807	27,114	5,847
4	0,3	III	5028,598	46,000	34,783	5,608

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	0,3	III	4985,693	43,443	32,744	5,350
4	0,3	III	4630,803	39,661	30,530	4,566
4	0,3	III	4305,388	39,252	26,840	6,206
4	0,3	III	4334,273	29,611	21,588	4,012
4	0,3	III	4947,474	28,710	17,998	5,356
4	0,3	III	4150,877	43,055	32,684	5,186
4	0,3	III	4858,543	33,100	25,990	3,555
4	0,3	III	5141,911	45,550	35,122	5,214
4	0,3	III	5054,623	37,176	27,855	4,661
4	0,3	III	4733,841	42,266	32,676	4,795
4	0,3	III	4623,191	32,654	24,879	3,888
4	0,3	III	4308,182	35,475	26,344	4,566
4	0,3	III	4400,569	37,582	29,081	4,251
4	0,3	III	4615,055	38,554	26,530	6,012
4	0,3	III	4157,793	47,777	36,648	5,565
4	0,3	III	5434,687	35,613	27,539	4,037
4	0,3	III	4583,822	28,555	20,365	4,095
4	0,3	III	5172,931	38,554	28,778	4,888
4	0,3	III	4269,907	41,030	29,343	5,844
4	0,3	III	4160,120	36,208	27,323	4,443
4	0,3	III	4781,661	39,176	30,719	4,229
4	0,3	III	5428,121	42,848	34,182	4,333
4	2,3	I	3536,596	34,484	27,101	3,692
4	2,3	I	2874,367	44,915	38,873	3,021
4	2,3	I	3866,691	31,610	23,111	4,250
4	2,3	I	3648,842	36,160	28,014	4,073
4	2,3	I	2718,354	39,113	29,690	4,712
4	2,3	I	3156,493	35,986	29,769	3,109
4	2,3	I	3278,412	35,363	28,744	3,310
4	2,3	I	3617,720	37,729	28,316	4,707
4	2,3	I	3480,320	39,850	32,744	3,553
4	2,3	I	2922,943	45,224	37,282	3,971
4	2,3	I	3893,773	32,529	24,520	4,005
4	2,3	I	3551,843	40,045	32,320	3,863
4	2,3	I	2862,518	40,428	31,433	4,498
4	2,3	I	3246,129	36,557	30,497	3,030
4	2,3	I	3352,606	41,333	33,312	4,011
4	2,3	I	2832,186	46,323	38,822	3,751
4	2,3	I	2766,083	51,080	45,054	3,013
4	2,3	I	2927,879	38,323	32,342	2,991
4	2,3	I	3353,562	45,893	36,829	4,532
4	2,3	I	3447,301	47,189	38,249	4,470
4	2,3	I	3397,637	41,467	30,723	5,372
4	2,3	I	3577,153	35,520	26,567	4,477
4	2,3	I	3868,190	43,692	35,195	4,249
4	2,3	I	3381,536	34,312	28,962	2,675
4	2,3	I	2879,901	36,769	27,926	4,422
4	2,3	II	4867,784	30,895	21,364	4,766

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	2,3	II	4549,938	32,744	27,192	2,776
4	2,3	II	4715,602	38,554	32,193	3,181
4	2,3	II	5026,726	40,428	32,342	4,043
4	2,3	II	4362,576	44,741	37,371	3,685
4	2,3	II	4864,798	44,923	36,597	4,163
4	2,3	II	4720,331	41,973	32,117	4,928
4	2,3	II	3935,93	45,658	36,970	4,344
4	2,3	II	4830,598	34,815	27,064	3,876
4	2,3	II	4139,248	41,631	34,254	3,689
4	2,3	II	5007,654	30,213	23,534	3,340
4	2,3	II	4394,546	43,574	35,353	4,111
4	2,3	II	5001,616	34,715	26,395	4,160
4	2,3	II	3142,024	37,519	30,004	3,758
4	2,3	II	3917,125	33,100	26,437	3,332
4	2,3	II	3743,417	37,729	30,975	3,377
4	2,3	II	3920,129	34,786	28,106	3,340
4	2,3	II	3949,315	32,024	23,805	4,110
4	2,3	II	4292,357	34,875	27,278	3,799
4	2,3	II	4310,497	30,335	23,888	3,224
4	2,3	II	4381,921	34,448	25,776	4,336
4	2,3	II	4325,579	39,339	31,193	4,073
4	2,3	II	4035,042	38,640	30,558	4,041
4	2,3	II	4595,699	33,282	25,336	3,973
4	2,3	II	4390,959	35,391	28,915	3,238
4	2,3	III	5356,212	38,936	30,262	4,337
4	2,3	III	5879,055	25,569	17,349	4,110
4	2,3	III	5058,04	35,520	27,032	4,244
4	2,3	III	5681,378	36,759	28,316	4,222
4	2,3	III	4631,780	32,097	24,535	3,781
4	2,3	III	5120,978	48,067	38,936	4,566
4	2,3	III	5599,727	39,015	30,991	4,012
4	2,3	III	5659,18	34,073	26,493	3,790
4	2,3	III	5858,782	41,808	34,502	3,653
4	2,3	III	5401,453	27,788	20,479	3,655
4	2,3	III	5317,301	44,551	38,077	3,237
4	2,3	III	5658,337	33,899	27,228	3,336
4	2,3	III	4451,485	41,988	33,544	4,222
4	2,3	III	4742,647	35,996	24,358	5,819
4	2,3	III	4787,547	33,647	23,429	5,109
4	2,3	III	5382,937	29,013	23,350	2,832
4	2,3	III	4702,507	36,506	28,932	3,787
4	2,3	III	4855,775	31,858	24,535	3,662
4	2,3	III	4598,272	36,916	29,806	3,555
4	2,3	III	4704,486	35,185	28,877	3,154
4	2,3	III	4666,723	43,542	32,654	5,444
4	2,3	III	4551,925	39,552	28,031	5,761
4	2,3	III	4561,538	37,265	29,818	3,724
4	2,3	III	4277,297	39,549	30,217	4,666

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	2,3	III	4573,955	29,081	23,042	3,020
4	4,3	I	3881,788	41,274	35,297	2,989
4	4,3	I	4063,936	48,549	42,568	2,991
4	4,3	I	3643,177	35,779	28,555	3,612
4	4,3	I	3322,274	33,954	27,431	3,262
4	4,3	I	3430,436	36,920	28,834	4,043
4	4,3	I	3560,270	40,916	34,171	3,373
4	4,3	I	3732,673	46,430	39,327	3,552
4	4,3	I	3974,936	41,467	34,026	3,721
4	4,3	I	2859,635	40,868	33,500	3,684
4	4,3	I	3767,558	37,328	32,228	2,550
4	4,3	I	3640,619	38,857	32,346	3,256
4	4,3	I	3726,89	44,440	37,119	3,661
4	4,3	I	3410,666	48,577	42,438	3,070
4	4,3	I	4118,382	36,856	30,102	3,377
4	4,3	I	4131,196	58,663	51,198	3,733
4	4,3	I	3402,050	40,747	31,978	4,385
4	4,3	I	3379,887	50,284	40,465	4,910
4	4,3	I	3156,813	51,012	43,497	3,758
4	4,3	I	3319,493	42,981	36,506	3,238
4	4,3	I	3507,812	36,769	28,813	3,978
4	4,3	I	3434,035	51,343	44,683	3,330
4	4,3	I	3648,03	53,230	44,772	4,229
4	4,3	I	3141,392	34,769	27,318	3,726
4	4,3	I	3465,677	44,348	37,252	3,548
4	4,3	I	2752,722	49,002	38,477	5,263
4	4,3	II	4275,332	34,772	27,395	3,689
4	4,3	II	4142,210	40,650	33,986	3,332
4	4,3	II	4911,489	40,045	34,698	2,674
4	4,3	II	4765,840	50,490	44,697	2,897
4	4,3	II	4900,650	49,991	42,658	3,667
4	4,3	II	4663,801	36,916	29,806	3,555
4	4,3	II	4732,086	43,130	36,986	3,072
4	4,3	II	4857,684	41,539	34,484	3,528
4	4,3	II	4412,278	38,477	29,711	4,383
4	4,3	II	4113,017	43,352	35,886	3,733
4	4,3	II	4060,652	39,586	32,209	3,689
4	4,3	II	4099,921	32,786	25,336	3,725
4	4,3	II	4834,408	36,040	28,031	4,005
4	4,3	II	3220,701	32,529	26,623	2,953
4	4,3	II	3854,250	41,405	34,875	3,265
4	4,3	II	4087,029	41,725	35,269	3,228
4	4,3	II	4746,274	51,162	42,219	4,472
4	4,3	II	3901,968	42,067	33,393	4,337
4	4,3	II	4599,470	40,974	32,966	4,004
4	4,3	II	4218,898	41,586	35,363	3,112
4	4,3	II	4799,455	45,068	36,802	4,133
4	4,3	II	4190,527	49,602	42,441	3,581

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	4,3	II	4508,698	39,875	32,650	3,613
4	4,3	II	4292,476	53,167	44,298	4,435
4	4,3	II	3365,853	47,626	37,582	5,022
4	6,3	I	3139,116	43,937	35,944	3,997
4	6,3	I	3133,261	34,333	27,588	3,373
4	6,3	I	2479,743	29,322	24,343	2,490
4	6,3	I	3429,462	39,736	32,684	3,526
4	6,3	I	3222,866	39,813	33,834	2,990
4	6,3	I	3034,629	47,050	40,428	3,311
4	6,3	I	2992,451	38,822	32,842	2,990
4	6,3	I	2876,746	41,190	32,925	4,133
4	6,3	I	2917,251	40,229	31,106	4,562
4	6,3	I	2899,847	36,920	30,392	3,264
4	6,3	I	3019,213	42,219	35,122	3,549
4	6,3	I	3274,679	40,036	34,102	2,967
4	6,3	I	3341,268	42,429	33,104	4,663
4	6,3	I	2969,961	36,956	31,590	2,683
4	6,3	I	2927,165	42,336	35,419	3,459
4	6,3	I	3332,493	50,028	42,263	3,883
4	6,3	I	2932,368	50,176	43,018	3,579
4	6,3	I	2732,483	36,381	28,624	3,879
4	6,3	I	3106,091	31,885	24,879	3,503
4	6,3	I	3020,175	38,682	32,540	3,071
4	6,3	I	2963,945	32,285	26,325	2,980
4	6,3	I	3300,106	43,870	37,827	3,022
4	6,3	I	2555,629	54,160	48,790	2,685
4	6,3	I	2173,068	38,682	31,570	3,556
4	6,3	I	2963,729	43,962	37,752	3,105
4	6,3	II	4603,973	51,073	42,292	4,391
4	6,3	II	4072,265	39,618	32,101	3,759
4	6,3	II	4632,726	44,382	33,979	5,201
4	6,3	II	4486,699	38,035	29,954	4,041
4	6,3	II	4420,435	37,341	26,679	5,331
4	6,3	II	3886,077	49,602	39,959	4,822
4	6,3	II	4259,301	53,893	46,342	3,776
4	6,3	II	4188,422	48,473	41,450	3,512
4	6,3	II	3883,221	40,747	36,255	2,246
4	6,3	II	3438,397	43,130	34,070	4,530
4	6,3	II	3322,403	51,162	41,923	4,620
4	6,3	II	3590,472	37,713	29,905	3,904
4	6,3	II	3460,942	41,309	32,984	4,163
4	6,3	II	4881,135	42,568	35,516	3,526
4	6,3	II	4667,987	44,703	37,252	3,726
4	6,3	II	3568,39	51,446	41,562	4,942
4	6,3	II	4668,601	44,653	34,659	4,997
4	6,3	II	3364,861	38,682	28,242	5,220
4	6,3	II	3426,452	53,459	43,971	4,744
4	6,3	II	4759,375	48,881	40,659	4,111

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Longitud (µm)	Ancho (µm)	Diámetro de lumen (µm)	Espesor de pared (µm)
4	6,3	II	4831,238	46,856	37,255	4,800
4	6,3	II	3604,887	37,176	27,395	4,891
4	6,3	II	4249,178	37,808	28,744	4,532
4	6,3	II	3597,709	46,094	38,554	3,770
4	6,3	II	3655,537	39,593	31,106	4,244

B. CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS DE DIMENSIONES DE TRAQUEIDAS

Resultados del Cumplimiento de supuestos y Comparación de medias de Longitud de traqueidas

Factor	Posición Radial			Posición Longitudinal (m)			
	I	II	III	0,3	2,3	4,3	6,3
Niveles del factor							
Prueba de Normalidad	Lilliefors						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,2759	Sí / 0,0241	Sí / 0,2002	No / 0,0431	Sí / 0,2242	No / 0,0038	No / 2,349e-8
Prueba de Homogeneidad de varianzas	Levene						
Cumplimiento / p-valor	No / 1,527e-9			Sí / 0,3611			
Igualdad de medias	Prueba paramétrica: Welch ANOVA			Prueba no paramétrica: Kruskal – Wallis			

Resultados del Cumplimiento de supuestos y Comparación de medias de Espesor de pared

Factor	Posición Radial			Posición Longitudinal (m)			
	I	II	III	0,3	2,3	4,3	6,3
Niveles de factor							
Prueba de Normalidad	Lilliefors						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,0947	No / 0,0039	Sí / 0,7015	No / 0,0471	No / 0,0015	Sí / 0,1214	No / 0,0240
Prueba de Homogeneidad de varianzas	Levene						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,0962			Sí / 0,1284			
Igualdad de medias	Prueba no paramétrica: Kruskal – Wallis			Prueba no paramétrica: Kruskal – Wallis			

C. COMPARACIÓN DE IGUALDAD DE MEDIAS

Prueba Welch anova y Kruskal – Wallis para los niveles de posición radial y longitudinal de longitud de traqueidas

Factor	Prueba	Estadístico	Grados de libertad		Significación
Posición Radial	Welch Anova	690,51	2	494,22	2,2e-16
Posición Longitudinal	Kruskal-Wallis	65,024	3		4,957e-14

Prueba Kruskal – Wallis para los niveles de posición radial y longitudinal de espesor de pared

Factor	Prueba	Estadístico	Grados de libertad		Significación
Posición Radial	Kruskal-Wallis	62,289	2		2,099e-14
Posición Longitudinal	Kruskal-Wallis	41,468	3		5,203e-09

ANEXO 2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS INDIVIDUOS EVALUADOS

A. DATOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DE *A. angustifolia*

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Densidad básica	Contracción volumétrica (%)	Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Densidad básica	Contracción volumétrica (%)
1	0,3	I	0,384	10,192	2	0,3	I	0,409	10,778
1	0,3	I	0,406	10,553	2	0,3	I	0,409	10,780
1	0,3	II	0,443	11,515	2	0,3	II	0,481	11,207
1	0,3	II	0,445	10,829	2	0,3	II	0,504	12,788
1	0,3	III	0,457	11,694	2	0,3	III	0,507	13,592
1	0,3	III	0,439	10,631	2	0,3	III	0,477	11,714
1	2,3	I	0,364	9,631	2	2,3	I	0,381	8,932
1	2,3	I	0,341	9,454	2	2,3	I	0,365	9,247
1	2,3	II	0,383	9,893	2	2,3	II	0,412	10,687
1	2,3	II	0,354	9,301	2	2,3	II	0,404	9,584
1	2,3	III	0,389	9,476	2	2,3	III	0,433	10,934
1	2,3	III	0,370	10,283	2	2,3	III	0,427	9,868
1	4,3	I	0,326	10,649	2	4,3	I	0,346	8,513
1	4,3	I	0,335	9,598	2	4,3	I	0,332	7,657
1	4,3	II	0,355	11,330	2	4,3	II	0,389	8,561
1	4,3	II	0,350	10,475	2	4,3	II	0,335	9,708
1	6,3	I	0,337	8,770	2	6,3	I	0,336	8,927
1	6,3	I	0,321	8,900	2	6,3	I	0,358	9,094
1	6,3	II	0,369	9,980	2	6,3	II	0,373	8,328
1	6,3	II	0,352	9,983	2	6,3	II	0,379	9,789
3	0,3	I	0,360	8,420	4	0,3	I	0,407	10,000
3	0,3	I	0,348	9,671	4	0,3	I	0,388	10,002
3	0,3	II	0,418	10,048	4	0,3	II	0,464	11,004
3	0,3	II	0,343	8,171	4	0,3	II	0,455	11,459
3	0,3	III	0,375	9,242	4	0,3	III	0,451	11,446
3	0,3	III	0,418	10,096	4	0,3	III	0,466	11,793

Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Densidad básica	Contracción volumétrica (%)	Árbol	Posición longitudinal	Posición radial	Densidad básica	Contracción volumétrica (%)
3	2,3	I	0,314	8,787	4	2,3	I	0,355	9,348
3	2,3	I	0,331	9,144	4	2,3	I	0,362	9,087
3	2,3	II	0,347	8,248	4	2,3	II	0,401	11,758
3	2,3	II	0,363	7,353	4	2,3	II	0,418	10,705
3	2,3	III	0,375	8,085	4	2,3	III	0,427	10,735
3	2,3	III	0,435	11,280	4	2,3	III	0,450	12,505
3	4,3	I	0,328	8,926	4	4,3	I	0,353	8,324
3	4,3	I	0,318	9,570	4	4,3	I	0,365	9,626
3	4,3	II	0,341	9,048	4	4,3	II	0,385	11,147
3	4,3	II	0,337	8,273	4	4,3	II	0,373	11,051
3	6,3	I	0,323	7,891	4	6,3	I	0,343	8,046
3	6,3	I	0,349	8,979	4	6,3	I	0,361	9,477
3	6,3	II	0,315	9,165	4	6,3	II	0,372	9,615
3	6,3	II	0,316	9,166	4	6,3	II	0,364	10,011

B. CUMPLIMIENTO DE SUPUESTOS DE PROPIEDADES FÍSICAS

Resultados del Cumplimiento de supuestos y Comparación de medias en Densidad básica

Factor	Posición Radial			Posición Longitudinal (m)			
	I	II	III	0,3	2,3	4,3	6,3
Niveles del factor							
Prueba de Normalidad	Lilliefors						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,1270	Sí / 0,1406	Sí / 0,4753	Sí / 0,7690	Sí / 0,6339	Sí / 0,5773	Sí / 0,6884
Prueba de Homogeneidad de varianzas	Levene						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,0806			No / 0,0011			
Igualdad de medias	Prueba paramétrica: ANOVA			Prueba paramétrica: Welch ANOVA			

Resultados del Cumplimiento de supuestos y Comparación de medias en Contracción volumétrica

Factor	Posición Radial			Posición Longitudinal (m)			
	I	II	III	0,3	2,3	4,3	6,3
Niveles del factor							
Prueba de Normalidad	Lilliefors						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,6569	Sí / 0,8402	Sí / 0,8404	Sí / 0,6119	Sí / 0,3950	Sí / 0,7245	Sí / 0,8441
Prueba de Homogeneidad de varianzas	Levene						
Cumplimiento / p-valor	Sí / 0,0520			Sí / 0,2709			
Igualdad de medias	Prueba paramétrica: ANOVA			Prueba paramétrica: ANOVA			

C. COMPARACIÓN DE IGUALDAD DE MEDIAS

Análisis de varianza de densidad básica en niveles radiales y longitudinales

Fuente de Variación Anova	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	Significación
Posición radial	2	26,628	13,3142	10,727	7,771e-05
Error	77	95,573	1,2412		
Total	79	122,201			

Factor	Prueba	Estadístico	Grados de libertad	Significación
Posición longitudinal	Welch Anova	22,596	3	41,953 7,286e-09

Análisis de varianza de contracción volumétrica para los niveles de posición radial

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	Significación
Posición radial	2	26,628	13,3142	10,727	7,771e-05
Error	77	95,573	1,2412		
Total	79	122,201			

Posición longitudinal	3	28,760	9,5866	7,7971	0,00013
Error	76	93,442	1,2295		
Total	79	122,202			

ANEXO 3. RELACIÓN ENTRE ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

A. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE: ESPESOR DE PARED

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal simple densidad básica vs espesor de pared

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		Error típico de la estimación	
0,8728		0,7617		0,02128 g/cm ³	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.
Regresión	1	0,0115760	0,0115760	25,57	0,00098*
Residuos	8	0,0036217	0,0004527		
Total	9	0,0151977			
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-0,14937	0,10537		-1,418	0,194072
Pared	0,13786	0,02726	0,8727514	5,057	0,000981***

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal simple contracción volumétrica vs espesor de pared

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		Error típico de la estimación	
0,9246		0,8549		0,3223 %	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.
Regresión	1	4,8961	4,8961	47,145	0,0001288*
Residuos	8	0,8308	0,1039		
Total	9	5,7269			
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-1,0545	1,5960		-0,661	0,527350
Pared	2,8351	0,4129	0,9246237	6,866	0,000129***

B. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE: LONGITUD DE TRAQUEIDAS

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal simple
contracción volumétrica vs longitud de traqueidas

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		Error típico de la estimación	
0,657		0,432		0,6377%	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.
Regresión	1	2,4739	2,4739	6,084	0,03892
Residuos	8	3,2530	0,4066		
Total	9	5,7269			
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	6,7023	1,3046	0,657257	5,138	0,00088***
Longitud	0,0008	0,0003		2,467	0,038915*

C. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal múltiple
Contracción volumétrica vs Espesor de pared y Longitud de Traqueidas

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		R^2 ajustado	Error típico de la estimación	
0,9253		0,8562		0,8151	0,343 %	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.	
Regresión	2	4,8961	2,44805	20,84	0,00112**	
Residuos	7	0,0073	0,1176			
Total	9	0,8235				
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	-1,260	1,887		-0,667	0,52586	
Espesor de pared	2,955	0,6502	0,9717027	4,544	0,00265**	
Longitud de Traqueidas	-6,257e-05	2,508e-04	-0,1342666	-0,249	0,81015	

La longitud de traqueidas no resultó ser una adecuada variable predictora para la Contracción volumétrica.

ANEXO 4. ANÁLISIS FUSTAL

A. CRECIMIENTO POR INDIVIDUO

Árbol	Edad	dap (cm)	ICA _{dap}	IMA _{dap}	Área transversal (cm ²)	Altura total (m)	ICA _h	IMA _h	Vol (m ³)	ICA _{vol}	IMA _{vol}	FF
1	1	2,370	2,370	2,370	4,4108	2,69	2,69	2,69	0,001283	0,001283	0,001283	1,081515
	2	4,818	2,449	2,409	18,2346	4,22	1,53	2,11	0,005057	0,003774	0,002528	0,657644
	3	6,640	1,822	2,213	34,6280	7,09	2,87	2,36	0,012757	0,007700	0,004252	0,519916
	4	9,477	2,837	2,369	70,5388	8,27	1,19	2,07	0,029776	0,017019	0,007444	0,510335
	5	11,834	2,357	2,367	109,9818	10,13	1,86	2,03	0,052835	0,023060	0,010567	0,474080
	6	13,804	1,971	2,301	149,6681	12,01	1,88	2,00	0,082924	0,030088	0,013821	0,461161
2	1	1,657	1,657	1,657	2,1553	2,18	2,18	2,18	0,000653	0,000653	0,000653	1,390365
	2	3,805	2,148	1,902	11,3698	3,81	1,63	1,91	0,002930	0,002277	0,001465	0,676013
	3	5,180	1,376	1,727	21,0774	4,86	1,04	1,62	0,006157	0,003227	0,002052	0,601407
	4	7,604	2,423	1,901	45,4083	7,20	2,34	1,80	0,016165	0,010008	0,004041	0,494431
	5	9,390	1,787	1,878	69,2563	9,23	2,03	1,85	0,031248	0,015083	0,006250	0,488581
	6	11,083	1,693	1,847	96,4808	12,26	3,02	2,04	0,055288	0,024040	0,009215	0,467443
3	1	1,477	1,477	1,477	1,7137	2,17	2,17	2,17	0,000578	0,000578	0,000578	1,557095
	2	2,962	1,485	1,481	6,8916	4,17	2,00	2,08	0,002570	0,001992	0,001285	0,894980
	3	5,609	2,646	1,870	24,7050	5,24	1,08	1,75	0,009224	0,006654	0,003075	0,711933
	4	7,983	2,375	1,996	50,0553	6,31	1,07	1,58	0,019046	0,009822	0,004761	0,602765
	5	9,726	1,743	1,945	74,2942	8,07	1,76	1,61	0,033827	0,014782	0,006765	0,564110
	6	11,325	1,599	1,888	100,7346	9,27	1,20	1,55	0,048794	0,014967	0,008132	0,522364
4	1	1,300	1,300	1,300	1,3273	2,02	2,02	2,02	0,000470	0,000470	0,000470	1,750601
	2	3,700	2,400	1,850	10,7521	3,27	1,24	1,63	0,002404	0,001934	0,001202	0,684344
	3	5,000	1,300	1,667	19,6350	5,24	1,98	1,75	0,005754	0,003351	0,001918	0,558799
	4	6,700	1,700	1,675	35,2566	6,31	1,07	1,58	0,012260	0,006505	0,003065	0,550847
	5	8,500	1,800	1,700	56,7452	8,22	1,91	1,64	0,024535	0,012276	0,004907	0,525865
	6	10,100	1,600	1,683	80,1187	9,91	1,69	1,65	0,040634	0,016099	0,006772	0,511722

B. ÍNDICES DE FORMA POR INDIVIDUO Y ALTURA

Árbol	Altura (m)	Ovalidad (d/D)	Excentricidad (r/R)	Árbol	Altura (m)	Ovalidad (d/D)	Excentricidad (r/R)
1	0,0	0,872	0,687	2	0,0	0,902	0,684
1	0,3	0,938	0,787	2	0,3	0,938	0,706
1	0,7	0,960	0,848	2	0,7	0,953	0,908
1	1,3	0,969	0,853	2	1,3	0,968	0,945
1	2,3	0,957	0,863	2	2,3	0,974	0,933
1	3,3	0,954	0,896	2	3,3	0,973	0,912
1	4,3	0,951	0,903	2	4,3	0,952	0,839
1	5,3	0,948	0,871	2	5,3	0,958	0,880
1	6,3	0,971	0,907	2	6,3	0,967	0,913
1	7,3	0,979	0,882	2	7,3	0,964	0,889
1	8,3	0,938	0,881	2	8,3	0,978	0,889
1	9,3	0,957	0,892	2	9,3	0,968	0,879
1	10,3	0,959	0,846	2	10,3	0,975	0,905
1	11,3	0,971	0,941	2	11,3	0,929	0,933
1	12,3	0,967	0,933	2	12,3	0,846	0,750
3	0,0	0,806	0,815	4	0,0	0,881	0,763
3	0,3	0,884	0,800	4	0,3	0,882	0,764
3	0,7	0,911	0,859	4	0,7	0,893	0,773
3	1,3	0,915	0,840	4	1,3	0,917	0,785
3	2,3	0,957	0,877	4	2,3	0,902	0,845
3	3,3	0,911	0,833	4	3,3	0,885	0,804
3	4,3	0,937	0,936	4	4,3	0,926	0,858
3	5,3	0,938	0,860	4	5,3	0,916	0,761
3	6,3	0,935	0,794	4	6,3	0,930	0,865
3	7,3	0,956	0,833	4	7,3	0,959	0,922
3	8,3	0,963	0,929	4	8,3	0,952	0,932
3	9,3	0,964	0,930	4	9,3	0,952	0,944
				4	10,3	0,958	0,948

ANEXO 5. INFLUENCIA CLIMÁTICA

A. VARIABLES CLIMÁTICAS VS CRECIMIENTO POR ÁRBOL

Árbol	Año	Período						Radio a 0,0 m de altura	Radio a 0,7 m de altura	Radio a 1,3 m de altura
		Enero – Diciembre		Septiembre – Agosto		Octubre – Septiembre				
		pp (mm)	T°prom	pp (mm)	T°prom	pp (mm)	T°prom			
1	2010	1444,00	18,32	1523,00	18,39	1521,50	18,46	18,522	16,361	11,849
1	2011	1858,10	17,76	1899,00	18,03	1915,60	17,95	12,081	11,117	12,243
1	2012	1935,00	17,79	1695,10	17,77	1701,00	17,83	9,224	9,724	9,108
1	2013	1895,30	18,09	2097,00	17,92	2087,50	18,08	15,127	14,713	14,185
1	2014	1697,80	18,21	1673,70	18,39	1720,20	18,42	10,104	12,301	11,783
1	2015	1673,20	18,56	1807,00	18,45	1761,30	18,52	11,428	10,304	9,855
2	2010	1444,00	18,32	1523,00	18,39	1521,50	18,46	16,122	12,417	8,283
2	2011	1858,10	17,76	1899,00	18,03	1915,60	17,95	6,645	9,682	10,741
2	2012	1935,00	17,79	1695,10	17,77	1701,00	17,83	10,408	6,264	6,878
2	2013	1895,30	18,09	2097,00	17,92	2087,50	18,08	13,430	11,831	12,116
2	2014	1697,80	18,21	1673,70	18,39	1720,20	18,42	14,432	10,461	8,934
2	2015	1673,20	18,56	1807,00	18,45	1761,30	18,52	10,864	9,323	8,465
3	2010	1444,00	18,32	1523,00	18,39	1521,50	18,46	16,122	11,812	7,386
3	2011	1858,10	17,76	1899,00	18,03	1915,60	17,95	6,381	8,033	7,425
3	2012	1935,00	17,79	1695,10	17,77	1701,00	17,83	10,883	12,666	13,232
3	2013	1895,30	18,09	2097,00	17,92	2087,50	18,08	10,307	9,711	11,874
3	2014	1697,80	18,21	1673,70	18,39	1720,20	18,42	10,302	8,282	8,714
3	2015	1673,20	18,56	1807,00	18,45	1761,30	18,52	6,156	7,661	7,996
4	2010	1444,00	18,32	1523,00	18,39	1521,50	18,46	13,013	10,052	6,503
4	2011	1858,10	17,76	1899,00	18,03	1915,60	17,95	10,010	9,452	12,015
4	2012	1935,00	17,79	1695,10	17,77	1701,00	17,83	7,492	6,683	6,609
4	2013	1895,30	18,09	2097,00	17,92	2087,50	18,08	9,003	7,836	8,375
4	2014	1697,80	18,21	1673,70	18,39	1720,20	18,42	11,986	10,000	9,000
4	2015	1673,20	18,56	1807,00	18,45	1761,30	18,52	12,014	10,144	7,999

B. REGRESIÓN LINEAL SIMPLE: PRECIPITACIÓN

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal simple crecimiento anual radial a una altura de 1,3 m vs precipitación anual acumulada

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		Error típico de la estimación	
0,9155		0,8382		0,5675 mm	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.
Regresión	1	6,6746	6,6746	20,72	0,0104*
Residuos	4	1,2883	0,3221		
Total	5				
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-0,933569	2,336034		-0,400	0,7098
Precipitación	0,005930	0,001303	0,9155413	4,552	0,0104*

C. CLIMA REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Estadísticos, análisis de varianza y coeficientes de la regresión lineal múltiple crecimiento anual radial a una altura de 1,3 m vs temperatura anual promedio y precipitación anual acumulada

Coeficiente de correlación simple (R)		Coeficiente de determinación R^2		R^2 ajustado	Error típico de la estimación	
0,9178		0,8424		0,7373	0,6468 mm	
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Sig.	
Regresión	2	6,7079	3,35395	8,018	0,06256	
Residuos	3	1,2549	0,4183			
Total	5	7,9628	1,59256			
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	
	B	Error típ.	Beta			
(Constante)	5,101555	21,540473		0,237	0,8280	
Precipitación	0,005719	0,001662	0,88301441	3,442	0,0412 *	
Temperatura	-0,310759	1,100654	-0,07242699	-0,282	0,7960	

La temperatura no resultó ser una adecuada variable predictora para el crecimiento radial.