



UNIVERSIDAD DE CHILE

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS Y SUS
BIOMATERIALES**

**ESTUDIO DE LA MADERA DE *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser,
VARIABILIDAD Y COMPARACIÓN CON MADERAS FOSILES
AFINES**

Memoria para optar al Título

Profesional de Ingeniero Forestal

JOSÉ MANUEL CRUZ SAN MARTIN

Prof. Guía: Sra. Teresa Torres González. Profesora de Matemáticas, Física y Estadística

Doctora en Ciencias y Máster en Física del Estado Sólido

Prof. Guía Srta. Magda Orell Arenas Profesora Anatomía de Maderas, Ing. Forestal

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS Y SUS
BIOMATERIALES

ESTUDIO DE LA MADERA DE *Nothofagus glauca*, VARIABILIDAD Y
COMPARACIÓN CON MADERAS FÓSILES AFINES

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

JOSÉ MANUEL CRUZ SAN MARTIN

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sra. Teresa Torres González	7,0
Prof. Guía Srta. Magda Orell Arenas	7,0
Prof. Consejero Sr. Alejandro Bozo González	7,0
Prof. Consejera Rosa Amelia Scherson Vicencio	7,0

Estoy seguro, pero podría estar equivocado.

Hualo Farías

ÍNDICE

Introducción.....	1
Objetivos.....	2
1 Material y método.....	3
1.1 Material.....	3
1.1.1 Área de estudio y material experimental	3
1.1.2 Antecedentes de <i>Nothofagus glauca</i>	3
1.1.3 Material y equipo de laboratorio	4
1.1.4 Material fósil	4
1.2 Método.....	5
1.2.1 Selección y volteo.....	5
1.2.2 Obtención de muestras.....	5
1.2.3 Elaboración de muestras microscópicas	6
1.2.3.1 Cortes histológicos	6
1.2.3.2 Maceraciones	7
1.2.4 Estudio de variabilidad	7
1.2.4.1 Mediciones biométricas.....	8
1.2.4.2 Comparación bibliográfica	9
1.2.4.3 Comparación con especies fósiles	9
2 Resultados y discusión	10
2.1 Antecedentes del árbol seleccionado.....	10
2.2 Estudio de Variabilidad	11
2.2.1 Variabilidad diámetro de poros	11
2.2.2 Variabilidad del largo de fibras	14
2.2.3 Variabilidad de altura y ancho de radios leñosos	17
2.2.3.1 Variabilidad Altura de radios leñosos	17
2.2.3.2 Variabilidad Ancho de radios leñosos	20
2.3 Descripción anatómica	23
2.4 Comparación bibliográfica	30
2.5 Comparación con maderas fósiles	32
2.5.1 <i>Nothofagoxylon kraeuseli</i> Boureau y Salard (1960).....	33
2.5.1.1 Descripción.....	33
2.5.1.2 Comparación <i>N. kraeuseli</i> – <i>N. glauca</i>	35
2.5.2 <i>Nothofagoxylon aggregatum</i> Pujana (2009).....	36

2.5.2.1 Descripción.....	36
2.5.2.2 Comparación <i>N. aggregatum</i> – <i>N. glauca</i>	37
2.5.3 <i>Nothofagoxylon triseriatum</i> Torres et Lemoigne (1988).....	38
2.5.3.1 Descripción.....	39
2.5.3.2 Comparación <i>N. glauca</i> - <i>N. triseriatum</i>	40
2.5.4 <i>Nothofagoxylon pichasquensis</i>	41
2.5.4.1 Descripción.....	41
2.5.4.2 Comparación <i>N. glauca</i> – <i>N. Pichasquensis</i>	42
2.5.5 <i>Nothofagoxylon paleoglauca</i>	43
2.5.5.1 Descripción.....	43
2.5.5.2 Comparación <i>N. paleoglauca</i> - <i>N. glauca</i>	44
3 Conclusiones.....	46
4 BIBLIOGRAFÍA	47
5 ANEXOS	50
5.1 Cronodendrología del individuo.....	50
5.1.1 Modelo de crecimiento del árbol por periodo	53
5.2 Estadística descriptiva para madera de <i>Nothofagus glauca</i>	54
5.3 Cuadro comparativo entre madera actual y fósil	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Mediciones en estudio de variabilidad.	7
Cuadro 2: Descripción anatómica, mediciones biométricas sugeridas por IAWA	8
Cuadro 3: Características anatómica cualitativas y cuantitativas.	24
Cuadro 4 :Comparación bibliográfica de caracteres anatómicos.	31
Cuadro 5: Morfoespecies ligadas al género <i>Nothofagus</i> , subgénero <i>Lophozonia</i>	33
Cuadro 6: Simbología.....	50
Cuadro 7: Crecimiento diámetro promedio anual cada 5 años.....	53
Cuadro 8: Incremento del DAP por periodo.....	53
Cuadro 9: Incremento de la altura del árbol por periodo.....	53
Cuadro 10: Incremento de volumen (Cm ³) por periodo.	54
Cuadro 11: Prueba de Kruskal-Wallis en Diámetro de Poros (DP) vs Periodos.....	54
Cuadro 12: Prueba de Kruskal-Wallis en Diámetro de Poros (DP) vs Altura.....	54
Cuadro 13: Prueba de Kruskal-Wallis en Largo de Fibras (LF) vs Periodo.....	55
Cuadro 14: Prueba de Kruskal-Wallis en Largo de Fibras (LF) vs Altura.....	55
Cuadro 15: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en micrones (AR μ m) vs Periodo.....	55
Cuadro 16: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura en células de Radios (ARcel.) vs Periodo.	56
Cuadro 17: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en micrones (AR μ m) vs Altura.....	56
Cuadro 18: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en cantidad de células (ARcel) vs Altura	57
Cuadro 19: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Uniseriados vs Altura.	57
Cuadro 20: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Uniseriados vs Periodos	57
Cuadro 21: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Biseriados vs Altura	58
Cuadro 22: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Biseriados vs Periodos.....	58
Cuadro 23: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Triseriados vs Altura	58
Cuadro 24: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Triseriados vs Periodo.	59
Cuadro 25: Prueba de Kruskal-Wallis en radios por mm ² vs Altura.....	59
Cuadro 26: Prueba de Kruskal-Wallis en radios mm ² vs Periodo.....	59
Cuadro 27: Comparación de <i>Nothofagus glauca</i> con especies fósiles.	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación árbol seleccionado.	3
Figura 2: Esquema de extracción de rodelas.	5
Figura 3: Esquema de extracción de muestras.....	6
Figura 4: Árbol de estudio.....	10
Figura 5: Poros de menor diámetro.....)	12
Figura 6: Vasos de mayor diámetro.....)	12
Figura 7: Mediana diámetro de poros (DP) versus.....	13
Figura 8: Mediana diámetro de poros (DP) versus Altura.....	14
Figura 9: Fibras de mayor longitud.	15
Figura 10: Fibras de menor longitud.	15
Figura 11: Mediana largo de fibra (LF) versus Periodo.	16
Figura 12: Mediana de largo de fibra (LF) versus Altura.....	16
Figura 13: Radios leñosos de mayor longitud..	18
Figura 14: Radios leñosos de menor longitud..	18
Figura 15: Mediana altura de radio (AR) versus Periodos.	19
Figura 16: Mediana altura de radios (AR) versus Alturas.....	19
Figura 17: Radios Uniseriados.	20
Figura 18: Radios Biseriados.....	21
Figura 19: Radios Triseriados.....	21
Figura 20: Mediana Ancho de Radios (AnR) versus Periodos.....	22
Figura 21: Medianas Ancho de radios (AnR) versus Alturas.....	22
Figura 22: Rodela.	25
Figura 23: Porosidad difusa con tendencia a semi-circular..	25
Figura 24: Medición de poros por milímetro cuadrado.....	26
Figura 25: Poros ocluidos por tilósis.....	26
Figura 26: Punteaduras intervasculares circulares alternas.	27
Figura 27: Punteaduras intervasculares circulares opuestas.....	27
Figura 28. Punteaduras escaleriformes.....	28
Figura 29: Célula parenquimática paratraqueal.....	28
Figura 30: Segmentos vasos.	29
Figura 31: Fibras leñosas.....	29
Figura 32: Punteaduras radiovasculares.	30
Figura 33: Madera de <i>N. kraeuseli</i>	34
Figura 34 :Comparación cualitativa <i>N. glauca</i> - <i>N. kraeuseli</i>	36
Figura 35: Madera de <i>N. aggregatum</i>	37
Figura 36: Comparación cualitativa <i>N. glauca</i> - <i>N. aggregatum</i>	38
Figura 37: Madera de <i>N. triseriatum</i>	39
Figura 38: Comparación cualitativa <i>N. glauca</i> - <i>N. triseriatum</i>	41
Figura 39: Madera de <i>N. pichasquensis</i>	42
Figura 40: Comparación cualitativa <i>N. glauca</i> - <i>N. pichasquensis</i>	43
Figura 41: Madera de <i>N. paleoglauca</i>	44
Figura 42: Comparación cualitativa <i>N. glauca</i> - <i>N. paleoglauca</i>	45
Figura 43: Modelo de crecimiento del individuo.	52

RESUMEN

El estudio de la anatomía y variabilidad de la madera, además de ser una mirada a las posibilidades productivas de la especie, es un indicador de adaptaciones ecológicas y una retrospectiva al pasado, abriéndonos una posibilidad de comprensión de nuestro medio natural aplicable a la conservación de nuestro patrimonio natural y cultural.

Bajo este marco, se caracterizó anatómicamente el leño secundario de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, (Hualo), determinando su variabilidad en sentido radial y axial. Se trabajó con un árbol de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de 20 cm y 9 metros de alto proveniente del predio Pastor Justo León perteneciente a la Universidad de Chile, ubicado en las cercanías de Constitución, Chile. Se extrajeron seis rodajas a diferentes alturas, para las cuales, en sentido radial, cada diez años se realizaron cortes histológicos en los tres planos de la madera y maceraciones, para así realizar una descripción completa de la anatomía de la madera considerando la variación del largo de fibras, ancho de poros, largo y ancho de radios en el leño, con el fin de realizar una comparación con descripciones de otros autores tanto para la especie actual como para especies fósiles.

Destacan entre los resultados tendencias, con significancia estadística. En sentido longitudinal el largo de fibras disminuye desde la base (1000 μm) hacia el ápice (770 μm). En sentido radial, el diámetro de poros aumenta desde la médula (35 μm) hacia la corteza (50 μm).

Por otra parte, resultados en radios leñosos muestran tendencias en sentido axial y radial. En sentido radial, radios uniseriados y biseriados, presentan una densidad similar en la médula, 20 radios por mm^2 , luego en dirección a la corteza, los radios uniseriados disminuyen a 10 radios por mm^2 , mientras que los radios biseriados se muestran estables. En sentido longitudinal los radios uniseriados aumentan desde la base, de 8 radios por mm^2 , al ápice, con 24 radios por mm^2 , mientras los radios biseriados disminuyen, de 21 radios por mm^2 a 15 radios por mm^2 . Los radios triseriados son muy poco abundantes, solo para la altura 2,3 m se observa un incremento. Sin embargo, para ninguno de estas variaciones en radios se indica significancia estadística.

Entre descripciones para la madera actual, destaca diferencias entre el tamaño de poros, el largo de vasos y largo de radios. Dentro de la comparación fósil, *Nothofagoxylon pichasquensis* es el espécimen que tiene mayor similitud con la especie actual

Palabras claves: Anatomía de madera, variabilidad, *Nothofagus glauca*, *Nothofagoxylon*, periodo, vasos, fibras, radios.

SUMMARY

The study of anatomy and variability of wood allows to find indicators of ecological adaption, opens productive possibilities and allows to look back into the past. It also opens possibilities to understand our environment and develop strategies to preserve natural and culture heritage.

Under this framework, we anatomically characterized the *Nothofagus glauca*'s (Phil.) Krasser, (Hualo) wood, determining its axial and radial variability. We selected a tree with 20 cm diameter breast height and 9 m tall. The tree came from the Pastor Justo León property that belongs to Universidad de Chile, located nearby Constitución, Chile. We selected six transversal sections from different heights. The sections were obtained making radial histological cuts every 10 years followed by maceration. The cuts were done in the three axis of the wood. In this way we obtained a complete wood description, considering variation in the length of the fibers, pore width and length and width of the wood's ray. We obtained these measures with the purpose of establishing similarities and differences with previous research, both for the current species and for the fossil species.

Our results show a trend with statistical importance. In the axial direction, the length of the fibers decreases from the base (1000 μm) to the top (770 μm). In radial direction, the pores width increases from the pit (35 μm) to the bark (50 μm).

Moreover, wood rays show axial and radial trends. In the radial direction, uniseriate and biseriate rays show similar density at the pit, 20 rays per mm^2 . At the bark the uniseriate type decreases its number to 10 rays per mm^2 . In the axial direction, the uniseriate number of rays increases from the base, 8 rays per mm^2 , to the top, reaching 24 rays per mm^2 . While the number of biseriate rays decreases from 21 rays per mm^2 to 15 rays per mm^2 . Triseriate rays are few, and only at 2.3 meters of high they appear in major quantity. However, none of this variation showed statistical difference.

In relation to the modern wood, we found differences in the size of the pores and length of the vessels and rays. Whereas, for the fossil comparisons, *Nothofagoxylon pichasquensis* is the specimen that has the greatest similarity with current species

Key words: Wood anatomy, variability, *Nothofagus glauca*, *Nothofagoxylon*, periods, vessels, fibers, rays.

INTRODUCCION

La familia *Nothofagaceae* consta de 42 especies, dentro de 4 sub géneros, *Nothofagus*, *Fuscospora*, *Trisyngyne* y *Lophozonia* (Heenan, 2013), distribuidas entre los 33° y 55° Latitud sur en Sudamérica, y desde los 0° hasta los 47° latitud sur en Oceanía (Donoso, 1993; Moreira, 2004). En el territorio chileno, se reconocen 10 especies para esta familia (Instituto de Botánica Darwinion, 2017), las cuales participan en 10 de los 12 tipos forestales, en estructura, ecología y economía (Donoso, 1993).

Entre los integrantes de esta familia del subgénero *Lophozonia* se encuentra “Hualo” o “Roble Maulino”, especie endémica de Chile, de nombre científico *Nothofagus glauca* (Phil.). Actualmente está clasificada en situación “Casi amenazada” según el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación (MMA, 2016) y su distribución abarca desde el cerro la Campana (32°50S), hasta el río Mataquitos (35°S) por la costa y desde el río Maule (35°40S) hasta el río Ñuble (36°50) provincia del Biobío, VIII Región, en la Cordillera de los Andes. Tiene una representatividad mayor en la Cordillera de la Costa que en la Cordillera de los Andes, siendo discontinua su distribución en ambas, debido principalmente al cambio climático y la presión antrópica (González 1998; Donoso 1993). Esta pérdida del patrimonio natural es pérdida también pérdida de nuestro patrimonio cultural, por lo cual comprender y conservar nuestro medio natural y todo lo que esto implica debe ser una tarea multidisciplinaria. Es en este punto donde el estudio de la anatomía de maderas toma protagonismo, ya que además de ser una mirada a las posibilidades productivas, es también, una herramienta taxonómica, pieza clave en el conocimiento, conservación y restauración de nuestro patrimonio (William *et al*, 2015). Una de las ramas de la anatomía de madera que tiene este rol, y nos ayuda a entender nuestro entorno, es la paleoxilología, la cual nos entrega pistas para inducir aspectos del origen de las plantas mediante la observación de fósiles y comparación con maderas actuales (Torres, 2003)

Gracias a esto, actualmente se reconoce que la familia *Nothofagaceae* se origina en el sur del continente Gondwánico en el Cretácico hace más de 80 millones de años, en condiciones subtropicales de clima cálido-húmedo, pero no es hasta el Eoceno, entre 53 y 34 millones de años atrás, donde se produce la máxima proliferación de los ancestros de Robles y Coigües, los cuales, debido a los cambios climáticos, actividad volcánica y separación de las grandes masas de tierra, provocó la especiación y adaptación del género a condiciones que actualmente dominan en la zona centro sur de Chile (Moreira, 2004, Ramírez, 1987).

Por lo tanto, la amplia distribución latitudinal y longitudinal, la condición de isla biológica de Chile, las características xilológicas del leño, su dominancia en la mayoría de los bosques chilenos y su amplio registro fósil, hacen que este género sea una fuente importante para estudios dendrocronológicos, climáticos y de conservación (Rivera, 2002, William *et al*, 2015).

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar la variabilidad de la estructura anatómica en la madera de *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser, comparándola con maderas de especies fósiles asociadas al bosque Maulino del centro sur de Chile del subgénero *Lophozonia* de la familia *Nothofagaceae*.

Objetivos específicos

Para su cumplimiento se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Establecer la variación del largo de fibras, diámetro de poros, largo y ancho de radios de la madera de *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser considerando madera del fuste a distintas alturas y edades formativas.
- Analizar las descripciones anatómicas de maderas fósiles afín a *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser.
- Determinar a través de análisis cualitativos y cuantitativos si las especies fósiles efectivamente poseen similitudes con *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser

1 MATERIAL Y MÉTODO

1.1 Material

1.1.1 Área de estudio y material experimental

El material fue colectado en Julio del 2015, en el predio experimental Dr. Justo Pastor León (Pantanillos), perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, ubicado entre los 35°43' y 35°47' de Latitud Sur y 72°29' y 72°31' de Longitud Oeste, a 23 kilómetros de la ciudad de Constitución en la Región del Maule.

El material de estudio corresponde a madera de un individuo de *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser, el cual estaba ubicado en las coordenadas UTM 18H 0745383 – 6072345 a 443 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

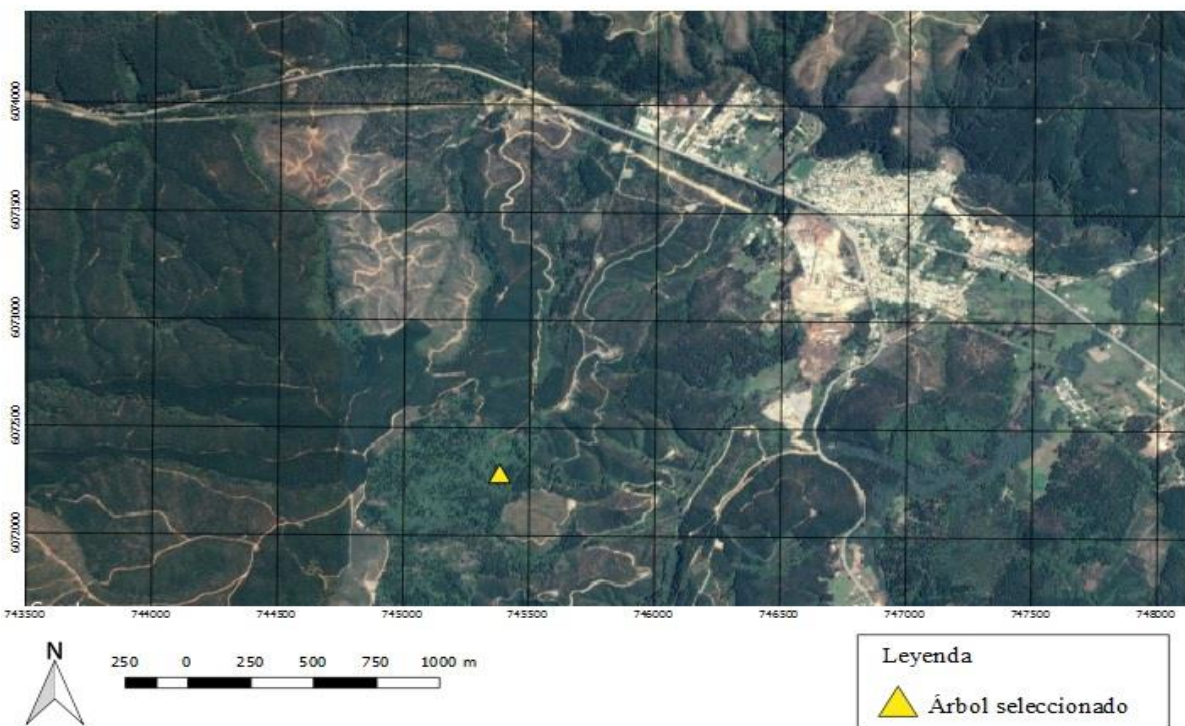


Figura 1: Ubicación árbol seleccionado.

1.1.2 Antecedentes de *Nothofagus glauca*

Hualo o Roble Maulino es una especie endémica de Chile, de nombre científico *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, de hoja grande y caduca, que alcanza hasta 30 m de altura y 2 m de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), capaz de soportar periodos prolongados de sequía, condición propia de los climas mediterráneos del centro sur del país.

Actualmente la especie es clasificada en situación “Casi amenazada” según el Reglamento para la Clasificación de Especies Silvestres según Estado de Conservación (MMA, 2016). Su distribución abarca desde el cerro la Campana (32°50S), hasta el rio Mataquitos (35°S) por

la costa y desde el río Maule (35°40S) hasta el río Ñuble (36°50) provincia del Biobío, VIII Región en la Cordillera de los Andes. Con una representatividad mayor en la Cordillera de la Costa que en la Cordillera de los Andes, siendo discontinua su distribución en ambos sectores, esto debido al aumento en la temperatura desde el retroceso de la última glaciación, la intervención antrópica mediante el cambio de uso de suelo hacia campos agrícolas, forestales, urbanos y la explotación maderera para aserrío, carbón y leña, quedando renegado a renovales de monte bajo, en sectores de mayor altitud, pendiente y suelos de menor profundidad (González 1998; Donoso 1993).

Los bosques que conforman, se identifican como “Bosque Transicional o Maulino”, los cuales originalmente crecían en lomajes entre los 200 y 600 msnm. en forma de bosquetes puros en la mayor parte de su extensión. Se puede encontrar asociado a *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., *Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav.) Tul., *Persea lingue* (Ruiz & Pav.) Nees, *Aextoxicon punctatum* (Ruiz et Pav.), *Drimys winteri* (J.R. & G. Forster) y *Sophora microphylla* (Aiton) Hook.f. dependiendo del sitio. Hacia el valle central o el litoral se puede encontrar junto a especies del matorral esclerófilo. Sin embargo, hoy en día estos bosques limitan principalmente con plantaciones *Pinus radiata* o *Eucalyptus sp.* El predio Pastor Justo León no está exento a esta realidad pudiéndose encontrar suelos erosionados, un gran número de hornos para carbón en desuso y un bosque nativo que ha sido sustituido por plantaciones forestales, encontrando en contadas ocasiones rodales de Hualo que han rebrotado desde los tocones, formando comunidades discretas de ecotonos delgados (Donoso, 1972; Donoso 1993; Hechenleitner *et al.*, 2005). Es importante destacar que actualmente gran parte de los bosques relictos de esta especie se quemaron producto de los incendios forestales que afectaron la zona de Constitución el verano de 2017.

1.1.3 Material y equipo de laboratorio

El trabajo se realizó mayoritariamente en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, Departamento de Ingeniería en Madera y sus Biomateriales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

Los principales equipos utilizados fueron: micrótopo de deslizamiento REICHERT para realizar los cortes histológicos, bomba de vacío en el macerado de madera, horno HERAEUS para secar macerados y muestras de madera. Los materiales fungibles para la preparación microscópica de las muestras fueron ácido acético glacial (CH₃COOH), agua oxigenada (H₂O₂) de 30 volúmenes, alcohol de 50° y 90° desnaturalizado, safranina 1% acuosa, bálsamo de Canadá, xilol, porta y cubre objetos. Para realizar las observaciones fotográficas y mediciones se utilizó un microscopio binocular OLIMPUS CX 21 con acople a cámara digital Micromatic.

1.1.4 Material fósil

Se utilizaron descripciones bibliográficas de maderas silificadas correspondientes al sub género *Lophozonia*, y material fósil perteneciente al Laboratorio de Paleobotánica del Departamento de Producción Agrícola de la Universidad de Chile.

1.2 Método

1.2.1 Selección y volteo

En el predio Pantanillos se realizó una selección dirigida hacia un individuo de estudio bajo los siguientes criterios: Árboles sin pudriciones y DAP de al menos 20 cm. El árbol seleccionado, antes ser volteado, se marcó en la base y el lado expuesto al norte. Además, se realizó una descripción acerca de su clase social, forma, tamaño, forma de la copa y competencia. Una vez volteado el árbol se procedió a marcar las rodelas a los 0,3; 1,3; 2,3; 4,3; 6,3 y 7,3 metros, siguiendo la ramificación principal, entendiéndose a ésta como la de mayor dominancia apical hasta obtener una rodela de mínimo 10 centímetros (Figura 2). Cada rodela se cortó con motosierra, de un espesor de 2-4 centímetros, dependiendo del diámetro de esta (Anuchin, 1970).

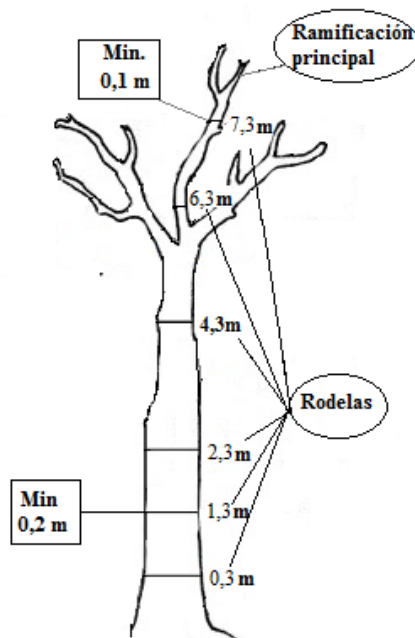


Figura 2: Esquema de extracción de rodelas.

1.2.2 Obtención de muestras

Por cada rodela extraída a las distintas alturas, se extrajo una faja de madera proveniente del diámetro medio, en la cual se contabilizaron grupos de 10 anillos, conjunto al cual se denominó **Periodo**. El árbol comprendió 4 periodos (A, B, C, D) o 40 años, donde a los primeros 10 años de vida se denominó arbitrariamente como **Periodo A**, la siguiente década correspondiente entre los 11 y 20 años, se denominó **Periodo B**, a los siguientes 10 años,

Periodo C y la última década, desde los 31 a los 40 años, **Periodo D**. Cada uno de estos periodos contempló su repetición en sentido medularmente opuesto, luego, desde cada periodo se extrajo una probeta de un centímetro cúbico, desde el sector central del periodo (Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Es importante indicar que, por forma natural del crecimiento de los árboles los primeros periodos desaparecen en los sectores más altos del fuste, para entender esta afirmación se recomienda observar la Figura 43.

En total se extrajeron 42 probetas, de las cuales se elaboraron 126 cortes histológicos, donde se midieron en total 4.907 poros, 987 fibras y 1.471 radios.

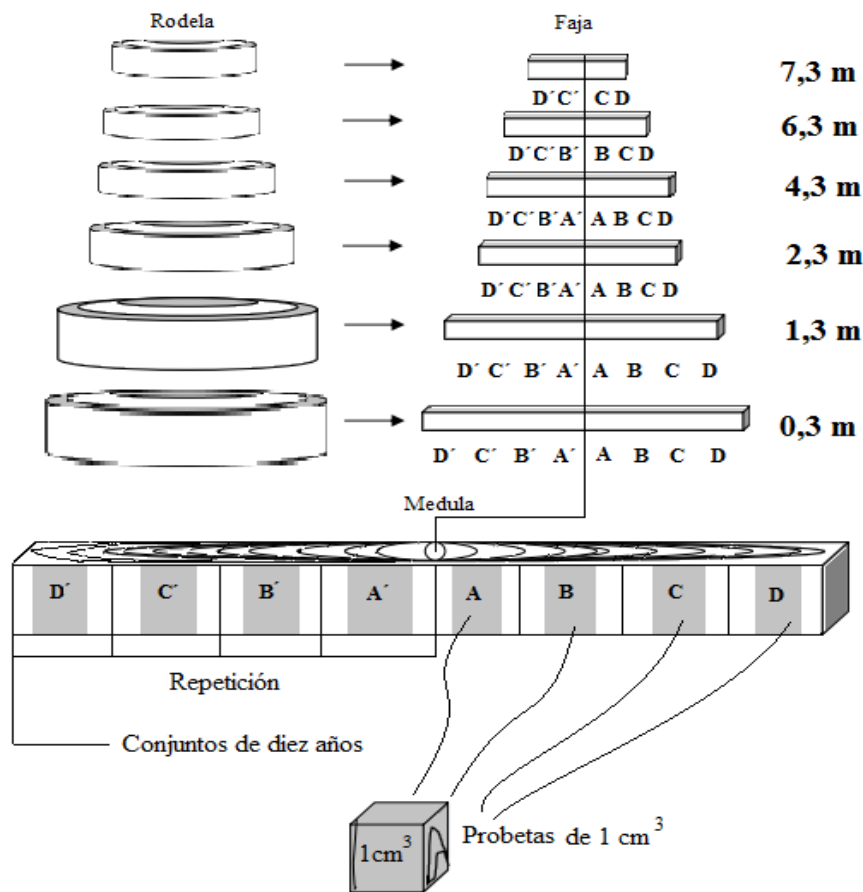


Figura 3: Esquema de extracción de muestras.

1.2.3 Elaboración de muestras microscópicas

1.2.3.1 Cortes histológicos

En cada probeta se realizaron cortes histológicos con el micrótopo de deslizamiento, obteniendo finas láminas del tejido desde los tres ejes de la madera, transversal (T), longitudinal radial (LR) y longitudinal tangencial (LT). Cada corte se realizó con un espesor

entre 25 - 50 μm y se sometió a tinción en safranina al 1 % acuoso durante 5 minutos para facilitar la tarea de observación y medición. Posteriormente se lavaron y deshidrataron con alcohol de 50° y 95°, por último, se sumergieron en Xilol antes de ser montados con bálsamo Canadá al porta objetos (Johansen, 1940).

1.2.3.2 Maceraciones

Desde cada probeta se realizaron macerados, para lo cual se siguió el protocolo fisicoquímico de maceración consistente en astillado, disgregación, filtrado, tinción y montaje celular descrito por Franklin (1938).

El astillado se realizó en las caras longitudinales (LT/LR) hasta disminuir en 1 mm cada cara. Luego se disgregó la lignina mediante la combinación 1:1 de ácido acético glacial y agua oxigenada; luego se aplicó calor mediante horno Heraeus, a 60°C por dos semanas. Una vez disgregadas las estructuras se filtraron y limpiaron con agua, hasta eliminar el ácido. Finalmente, la tinción se realizó con safranina 1% acuoso, se deshidrató con alcohol 95° y se mejoraron las propiedades visuales con Xilol. El montaje y sellado se realizó con bálsamo Canadá.

1.2.4 Estudio de variabilidad

Una vez que los cortes y maceraciones estuvieron listos, se procedió a realizar el estudio de variabilidad de la madera de *N. glauca*, el cual se centró en tres aspectos: poros, fibras y radios.

La metodología empleada consideró observaciones por microscopía óptica y toma de microfotografías. Utilizando el software Moticam Images se midieron las características de interés (Cuadro 1) a cada Altura (0,3; 1,3; 2,3; 4,3; 6,3 y 7,3 metros) y Periodo (A;B;C;D).

Cuadro 1: Mediciones en estudio de variabilidad.

MEDICIÓN	UNIDAD	CORTE	N° MEDICIONES	OBJETIVO
Diámetro Tangencial Poros (DP)	μm	Transversal	25	4x y 10x
Longitud Fibras(LF)	μm	Maceración	25	10x
Alturas Radios (ARcel)	Célula	Tangencial	25	10x o 40x
Alturas Radios (ARμm)	μm	Tangencial	25	10x o 40x
Ancho Radios (AnR)	Célula	Tangencial	25	10x, o 40x

Una vez obtenidos los datos, mediante la utilización del Software Microsoft Excel y el procesador estadístico Minitab 16 se realizó un análisis de varianza Kruskal-Wallis (K-W) de diferencia de medianas y se le ajustó un modelo lineal simple. Se calcularon las medias, medianas, máximos, mínimos, coeficientes de variación y desviaciones estándar.

1.2.4.1 Mediciones biométricas

La descripción anatómica consideró los 3 ejes de la madera, donde en el corte transversal se observó la notoriedad de los anillos, tipo de porosidad, disposición de los poros en el anillo, disposición del parénquima longitudinal y las inclusiones de tilósis o gomas. En el corte tangencial y radial se describieron las paredes de los vasos (engrosamientos), forma de las puntuaciones, disposición de las puntuaciones, tipo de placa de perforación, inclusiones de tilósis o gomas, tipo de fibras, clasificación de Kribs para radios y la inclusión de cristales.

Los datos fueron tomados en paralelo a las observaciones realizadas para el estudio de variabilidad, y se complementó con observaciones adicionales en distintos puntos del árbol siguiendo las normas establecidas en la pauta de descripción y reconocimiento microscópico de latifoliadas de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera para la identificación de maderas de latifoliadas (IAWA, 1989). En el Cuadro 2 se detallan las mediciones biométricas, el plano en donde se observó, el número de observaciones y el lente objetivo utilizado. Los valores de estas mediciones luego son expresados en este orden: valor mínimo, promedio, desviación estándar entre paréntesis y valor máximo.

Cuadro 2: Descripción anatómica, mediciones biométricas sugeridas por IAWA.

MEDICIÓN	CORTE	N° MEDICIONES	OBJETIVO
Poros por mm²	Transversal	5	10x
Diámetro Tangencial Poros(μm)	Transversal	25	10x, o 40x
Longitud Vasos(μm)	Maceración	10 a 25	10x, o 40x
Diámetro Tangencial Puntuaciones Vasos(μm)	Radial y Tangencial	15	40x
Longitud Fibras(μm)	Maceración	25	10x
Diámetro Fibras(μm)	Maceración	12	40x
Diámetro Lumen(μm)	Maceración	12	40x
Espesor de Pared(μm)	Maceración	12	40x
Alturas Radios en número de Células	Tangencial	25	10x, o 40x
Alturas Radios en micrones(μm)	Tangencial	25	10x, o 40x
Número de Radios por mm	Transversal	5	3.5x

Fuente: IAWA Committee, 1989.

1.2.4.2 Comparación bibliográfica

La descripción y valores biométricos obtenidos en el presente estudio, se compararon con los valores obtenidos por Wagemann (1949), Donoso (1972) y Rancusi (1987) mediante una tabla comparativa (Cuadro 4).

1.2.4.3 Comparación con especies fósiles

La comparación de *Nothofagus glauca* con maderas fósiles, previamente consideradas afines al subgénero *Lophozonia* (Torres, 1988, Poole, 2002, Hennan & Smissen, 2013), consideró principalmente la altura y ancho de radios, características de vasos, como la porosidad, tipo de perforación y tipo de puntuaciones. Las caracterizaciones y los datos biométricos de maderas fósiles previamente asociadas a *Nothofagus glauca* fueron obtenidas mediante bibliografía y maderas silificadas provenientes del Laboratorio de Paleobotánica de la Facultad de Ciencias Agronómicas. Se analizaron y discutieron sus caracteres cuantitativas mediante una tabla comparativa (Cuadro 27) y las características cualitativas mediante microfotografías de la madera y gráficos radiales. Para comprender los gráficos radiales se sugiere observar el Cuadro 6.

2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Antecedentes del árbol seleccionado

El individuo de *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser seleccionado (Figura 4) pertenecía al estrato social intermedio, de 9 m de alto y 20 cm al DAP, encontrándose asociado a especies como Lingue (*Persea lingue* (Ruiz & Pav.) Nees), Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don), Mayo (*Sophora macrocarpa* J.E.Sm.), Copihue (*Lapageria rosea* Ruiz & Pav.), Corontillo (*Escallonia pulverulenta* (Ruiz & Pav.)Pers., Meli (*Amomyrtus meli* (Phil.) D. Legrand & Kausel, Olivillo (*Aextoxicon punctatum* Ruiz & Pav) y Azara sp. El sector comprendía una pendiente de 37% con cobertura vegetal mayor al 75%.



Figura 4: Árbol de estudio. A: Árbol en lugar de origen; B: Árbol volteado; C: Conjunto de rodela de las diferentes alturas D: Rodela 0,3 m y sus periodos.

2.2 Estudio de Variabilidad

2.2.1 Variabilidad diámetro de poros

Los datos observados muestran un coeficiente de variación del 22% con diámetro de poros que puede ir desde 25 μm a 106 μm , con una media de 43,3 μm y mediana de 42,8 μm . En las Figura 7 Figura 8, se puede apreciar gráficamente cómo varía el diámetro de poros a diferentes periodos y alturas.

En la Figura 7 se observa que desde los primeros años hacia los últimos años del árbol el diámetro de los poros aumenta. El Periodo A (0-10 años) contempla los valores menores, 35,79 μm , luego el Periodo B (10-20 años) tiene un incremento a 41,7 μm , 16,5%, más respecto al primer periodo, luego, el Periodo C (20-30 años) aumenta a 43,64 μm , lo que representa un 4,6% respecto al periodo anterior. Finalmente, en el Periodo D (30-40 años), la mediana crece a 50,72 μm , lo que representa un aumento del 16,2% respecto al Periodo C y 41% con respecto al Periodo A. Esta diferencia de diámetros para una misma altura en distintos periodos se puede apreciar en las Figura 5 y Figura 6.

El análisis estadístico K-W efectuado sobre el diámetro de los poros respecto a las distintas edades del individuo indicó como altamente significativas las diferencias de las medias entre todos los periodos ($P=0$). Al realizar una regresión lineal sobre los datos, se observa una tendencia a aumentar el diámetro desde la médula hasta la periferia con un 95% de ajuste.

En la Figura 8, se aprecia gráficamente la existencia de un patrón de aumentos y disminuciones entre las distintas alturas en forma intercalada, desde la base al ápice del árbol. En términos estadísticos mediante el análisis K-W se podrían establecer tres grupos de valores (a, b y c) con medianas estadísticamente iguales. El análisis asoció la altura 0,3 m con 4,3 m ($P=0,786$), altura 1,3 m con 7,3 m ($P=0,441$) y altura 2,3 m con 6,3 m ($P=0,266$). Al trazar la ecuación de la recta en los datos, resulta una línea de baja pendiente positiva, con un ajuste aproximado del 4%.

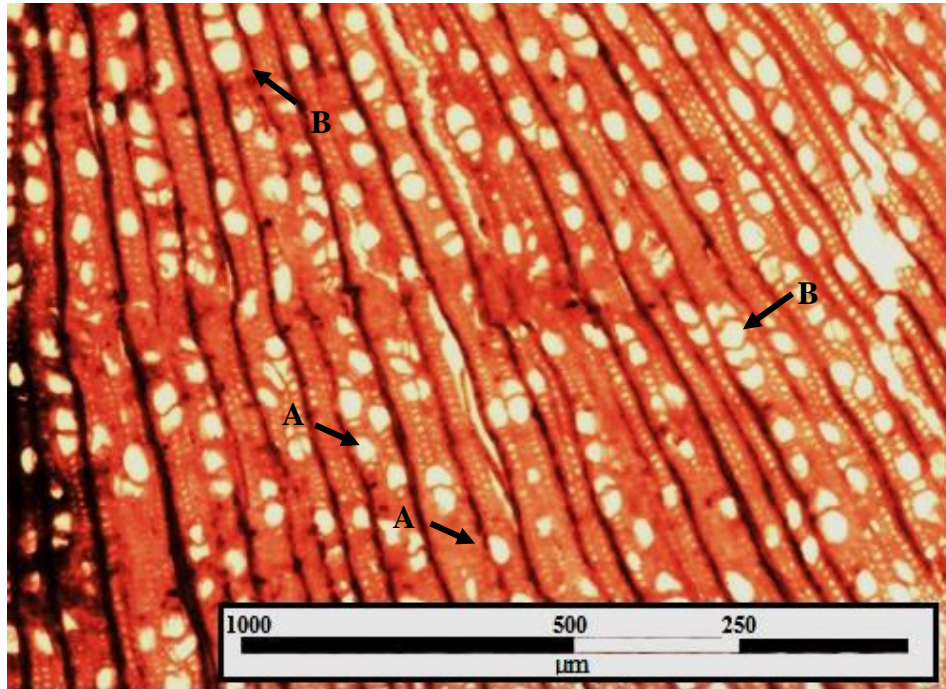


Figura 5: Poros de menor diámetro. A: Poro solitario. B: Poros en serie radial. Periodo A, altura 0,3 m, corte transversal (4x).

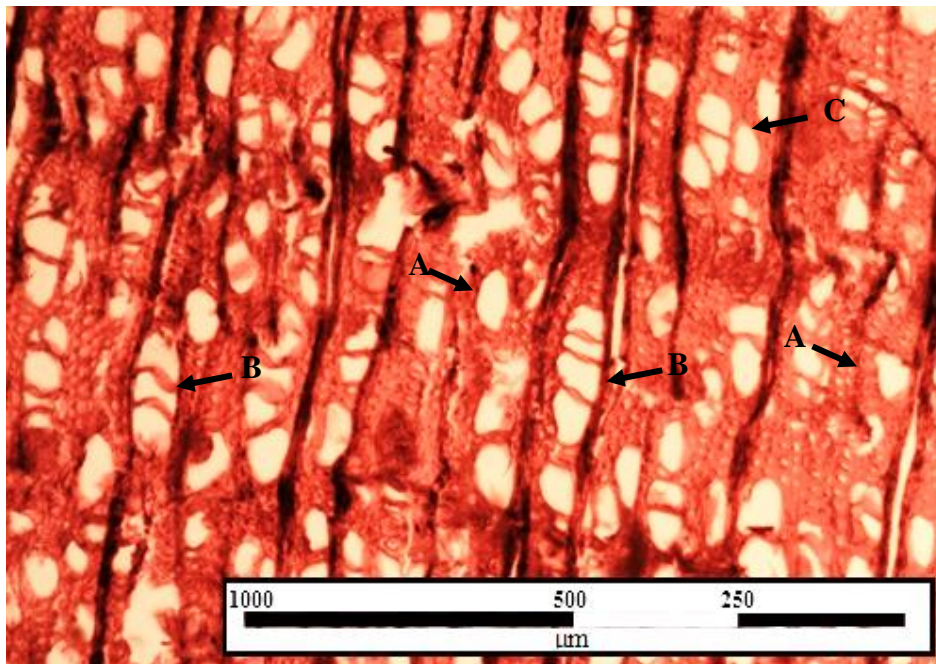


Figura 6: Vasos de mayor diámetro. A: Poro solitario. B: Poros en serie radial. C: Poros agrupados. Periodo D, altura 0,3 m, corte transversal (4x).

El trabajo realizado por Medina *et al* (2013) para *Nothofagus alpina* (Raulí), tiene gran importancia debido a la cercanía taxonómica a *Nothofagus glauca*. En tal estudio el comportamiento del diámetro de poros en función de la edad, presenta similitudes con los obtenidos en el presente trabajo, obteniendo en ambos, variaciones significativas entre las edades, diferenciándose en que *N. glauca* contempla diferencias estadísticas entre todos los periodos. Raulí por otra parte contempla diferencias apreciables solo desde los 40 años en adelante.

Otros estudios realizados en especies del género *Eucalyptus* por Wilkens (1988), muestra rápidos cambios en la mayoría de las características anatómicas desde la madera juvenil a la adulta, entre estos, un claro incremento del diámetro de los vasos desde la médula hacia la corteza. Es así también como Peszlen (1994), en *Populus*, indica que la edad explica en un 80% la variación del diámetro de poros. Moglia & López (2001) apunta a que el diámetro de poros está en un 66% explicado por la distancia hacia la medula. Esta tendencia también se repite para otras especies forestales tropicales como *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia guatemaltensis* (Butterfield *et al.*, 1993), *Swietenia macrophylla* (Rulliaty & America, 1995 en León, 2010), *Tectona grandis* (Bhat *et al.*, 2001), *Terminalia ivorensis* (Urbinati *et al.*, 2003), *Gmelina arborea* (León y Quintero, 2007) y *Cordia thaisiana* (León y Espinoza, 1998). Según Carquist (1988) esta respuesta estaría asociada a un aumento del volumen del fuste mientras el árbol forma su copa, lo cual estaría relacionado con el volumen de agua que tiene que transportar el árbol cuando es joven en contraste a cuando es adulto. Por otra parte, ninguno de estos estudios menciona tendencias del diámetro de poros a diferentes alturas.

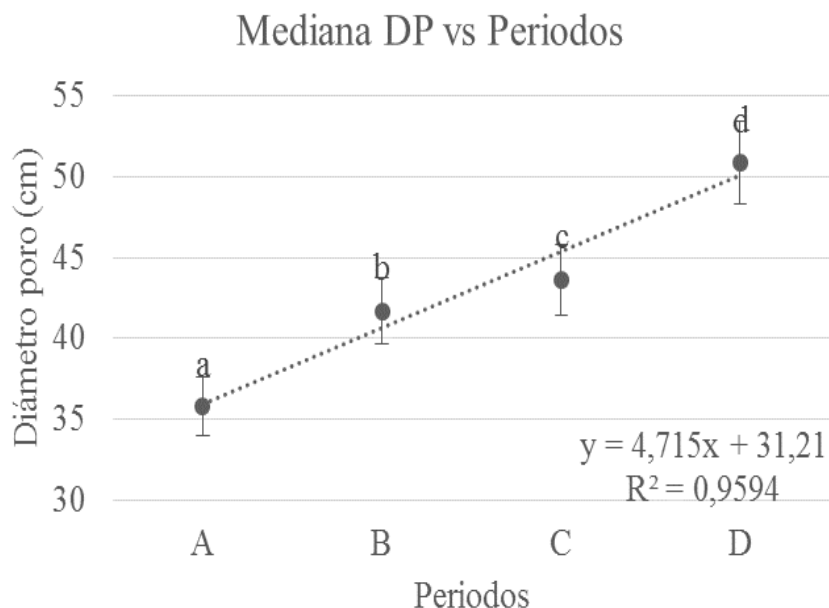


Figura 7: Mediana diámetro de poros (DP) versus Periodos. *Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.*

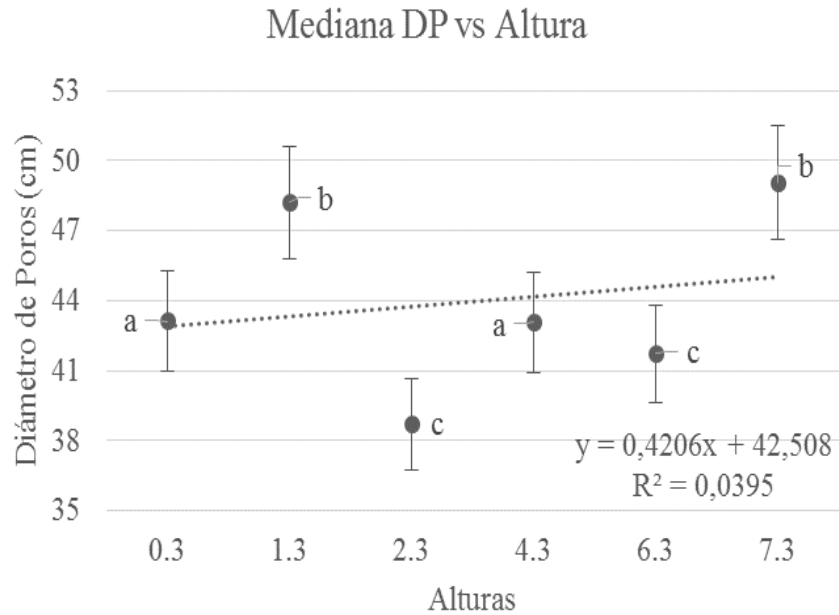


Figura 8: Mediana diámetro de poros (DP) versus Altura. *Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas.*

2.2.2 Variabilidad del largo de fibras

El tejido fibroso, está conformado en promedio por células de 935 μm de largo y mediana de 897 μm , el largo mínimo encontrado fue de 348 μm y máximo de 1987 μm . El coeficiente de variación fue de 29%. Al observar los datos (Figura 11), se puede apreciar un incremento progresivo de los valores durante los primeros 3 periodos, 860 μm , 920 μm y 976 μm para los periodos A, B y C respectivamente. Luego, en el periodo D los largos de fibras bajan a valores similares a los iniciales, con media de 843 μm . El análisis estadístico K-W, determinó no haber diferencias significativas ($P=0,340$) entre medianas para ningún periodo, por lo cual se considera que los largos de fibras son iguales desde los primeros años de vida hasta su muerte cercano a los 40 años.

Estos resultados contrastan con las tendencias generales encontradas en distintos estudios, uno de los más importantes es el realizado por Medina *et al* (2013) en *Nothofagus alpina*. En tal estudio se observó que existen diferencias estadísticamente significativas del efecto fijo de la edad sobre el parámetro largo de fibra, siendo esta tendencia diferenciable solo después de los 30 años, dando indicios de una maduración del leño. Sin embargo, la longitud promedio de las fibras fue de 943 μm , cifra cercana a la encontrada en *N. glauca* (1041 μm).

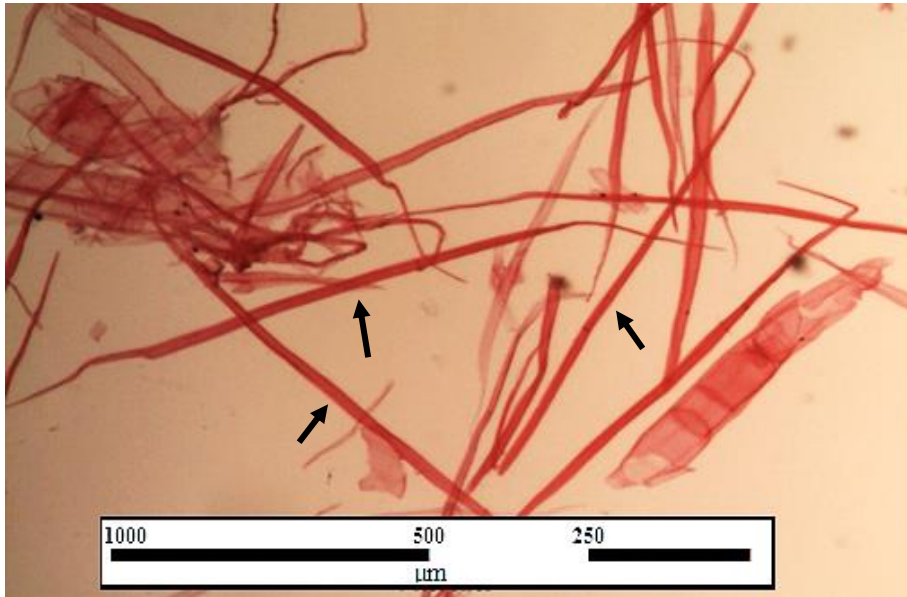


Figura 9: Fibras de mayor longitud. Flechas indica fibras leñosas. *Periodo D, altura 0,3 m, Macerado (4x)*

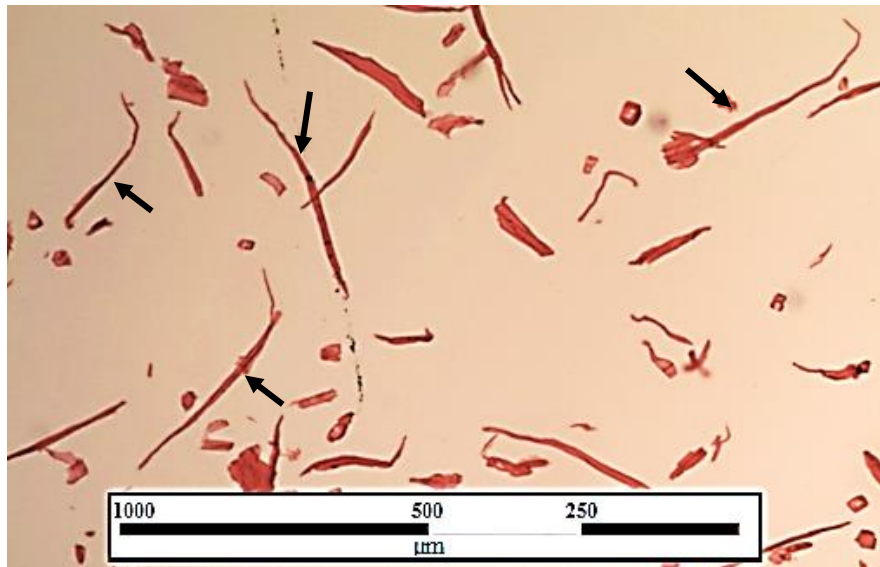


Figura 10: Fibras de menor longitud. *Flechas indican fibras. Periodo B, altura 6,3 metros, Maceración (4x).*

Otros estudios en especies de rápido crecimiento como León (2010) en *Swietenia macrophylla*, Igartúa y Monteoliva (2010) en *Eucalyptus globulus*, León y Espinoza (1998) en *Cordia thaisianam*, Butterfield *et al* (1993) en *Hyeronima alchorneoides* y *Vochysia guatemaltensis*, y Bhat *et al* (1989) con 11 especies de bosques tropicales sudamericanos han encontrado que el patrón de comportamiento general es un incremento de las células fibrosas hacia la periferia del árbol. Es importante destacar que para todos estos estudios se utilizaron individuos de mayor diámetro que el presente trabajo. Por otra parte, Zobel *et al* 1989 indica

que especies longevas y con un receso de crecimiento en cada temporada generan madera juvenil más tiempo que una de madera de rápido crecimiento, donde la variabilidad es menos radical en el tiempo. Este antecedente podría indicar que el árbol seleccionado no había alcanzado la madurez, por lo tanto, no se expresa claramente su variabilidad en el largo de fibras.

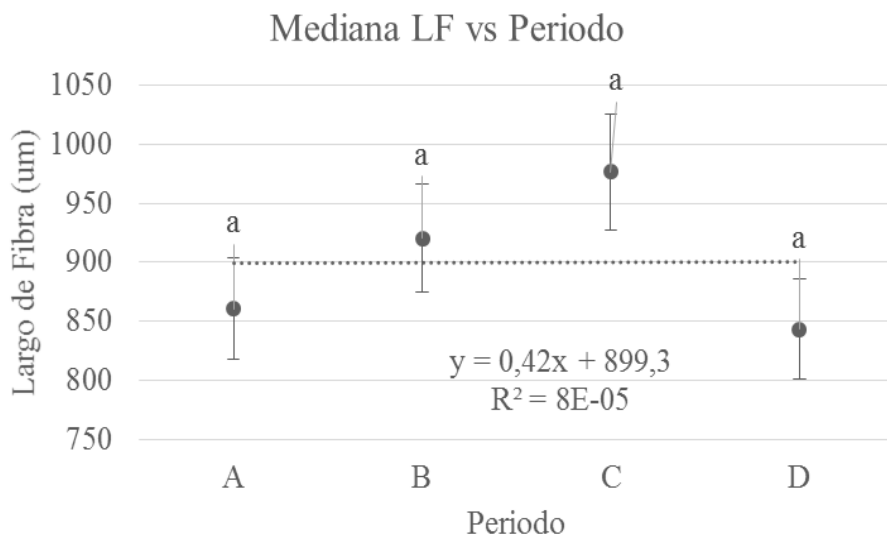


Figura 11: Mediana largo de fibra (LF) versus Periodo. *Letras distintas indican diferencias significativas entre las medianas.*

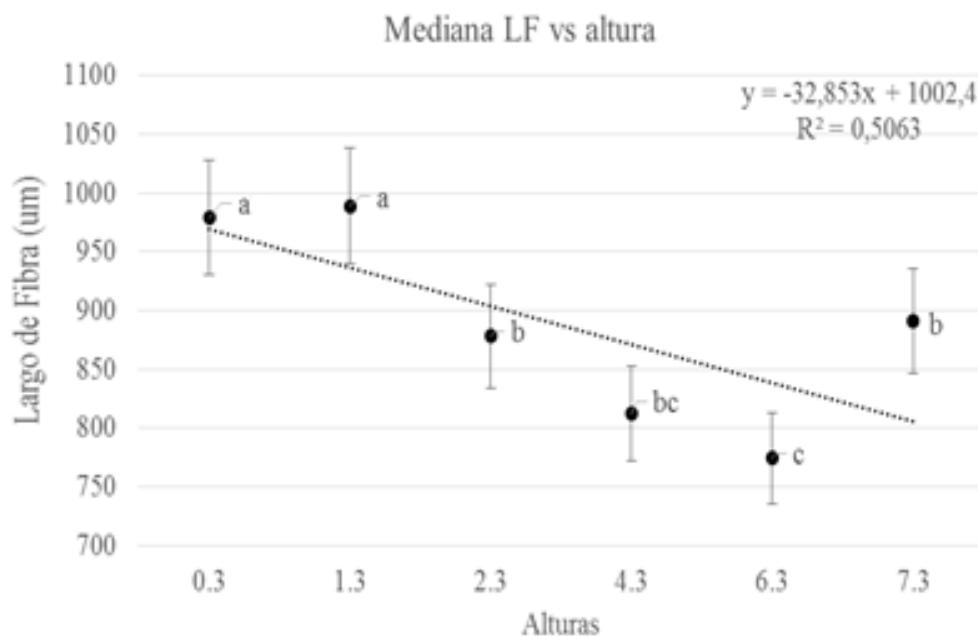


Figura 12: Mediana de largo de fibra (LF) versus Altura. *Letras distintas indican diferencias significativas entre las medianas.*

Las fibras en el sentido axial del árbol muestran tendencia a disminuir su tamaño desde la base al ápice, con una diferencia de 38% entre la mediana más grande a los 1,3 m y la de menor valor a los 6,3 metros. Este patrón se sustenta en los resultados obtenidos en el análisis de K-W donde el efecto de la altura resultó significativo. Como se puede apreciar en la Figura 12, los datos se diferencian en 3 niveles, “a”, alturas con las fibras más largas, “b”, alturas con fibras intermedias y “c”, alturas con las fibras más cortas.

Las mayores longitudes de fibra (Figura 9) se encuentran a las alturas 0,3 y 1,3 metros con 979 μm y 989 μm respectivamente, mientras que el menor tamaño (Figura 10) de fibras se encuentra a los 6,3 metros con 713,4 μm . Las alturas 2,3 y 7,3 contienen valores de fibras medias con largos de 878 μm y 864 μm , mientras que la altura 4,3 metros con mediana de 812,2 μm representa un sector sin diferencia estadística entre las alturas aledañas.

El comportamiento de estos valores responde en un 50% a un modelo lineal simple. Este valor es bajo principalmente debido a que la Altura 7,3 metros escapa a la tendencia general. Pocos estudios contemplan el efecto de la altura sobre las fibras, Medina *et al* (2013) en *Nothofagus alpina*, León (2010) en *Swietenia macrophylla*, Igartua y Monteoliva (2010) en *Eucalyptus globulus*, lo hacen y concluyen de manera unánime a que la longitud de las fibras responde a la altura del árbol.

2.2.3 Variabilidad de altura y ancho de radios leñosos

2.2.3.1 Variabilidad Altura de radios leñosos

El análisis de la altura de radios leñosos, presentó un gran rango de valores, llegando a tener un coeficiente de variación del 42%. Los radios más grandes (Figura 13) observados fueron de 930 μm , conformados por 51 células de alto mientras que los más pequeños (Figura 14) de 45 μm , constituidos por 3 células.

En la Figura 15, se puede apreciar cómo los valores de largo del radio se encuentran entre los 212,7 y 229,1 μm , compuestos por 9 o 10 células principalmente, sin existir fuerte tendencia hacia el incremento o disminución del largo. Los datos entregados por el análisis K-W muestran de esta manera que la altura de los radios en función del periodo no tiene diferencias significativas, de lo cual se desprende que, en sentido diametral, los radios se mantienen con un mismo largo y número de células desde su nacimiento en la médula hasta el cambium.

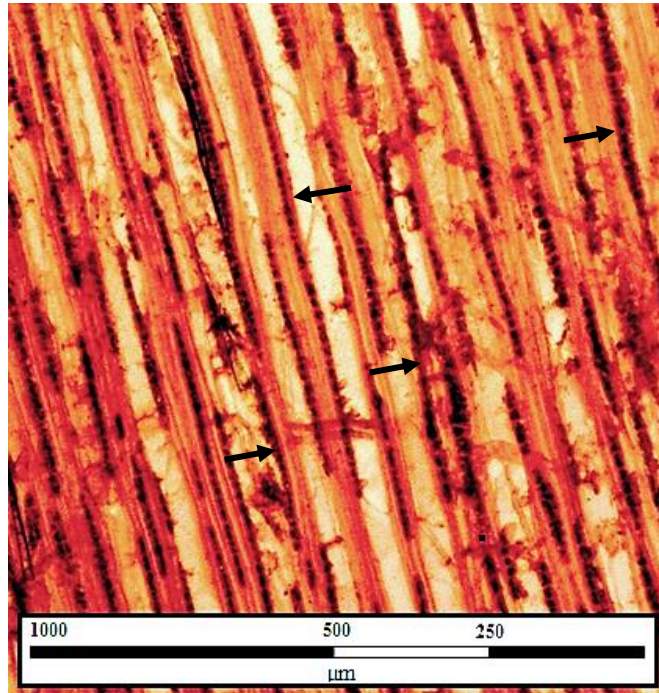


Figura 13: Radios leñosos de mayor longitud. Flechas indican radios leñosos de mayor tamaño. Periodo C, altura 0,3 m, corte longitudinal tangencial (4x).

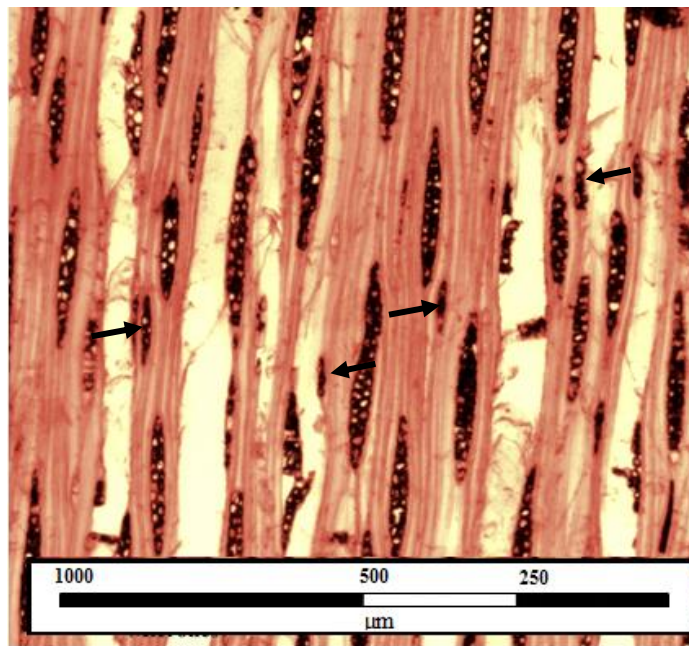


Figura 14: Radios leñosos de menor longitud. Flechas indican radios leñosos de menor longitud. Periodo A, altura 2,3 m, corte longitudinal tangencial (4x).

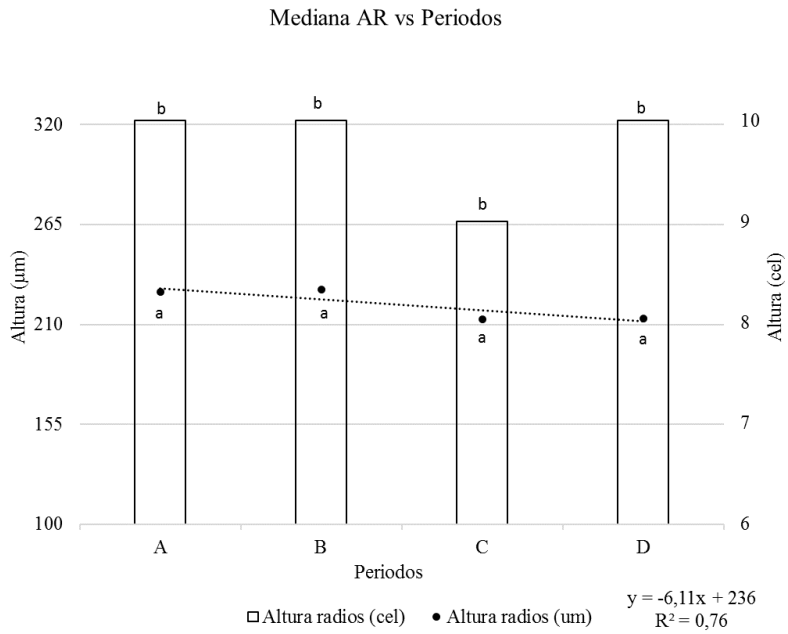


Figura 15: Mediana altura de radio (AR) versus Periodos. *Letras distintas indica diferencia estadística.*

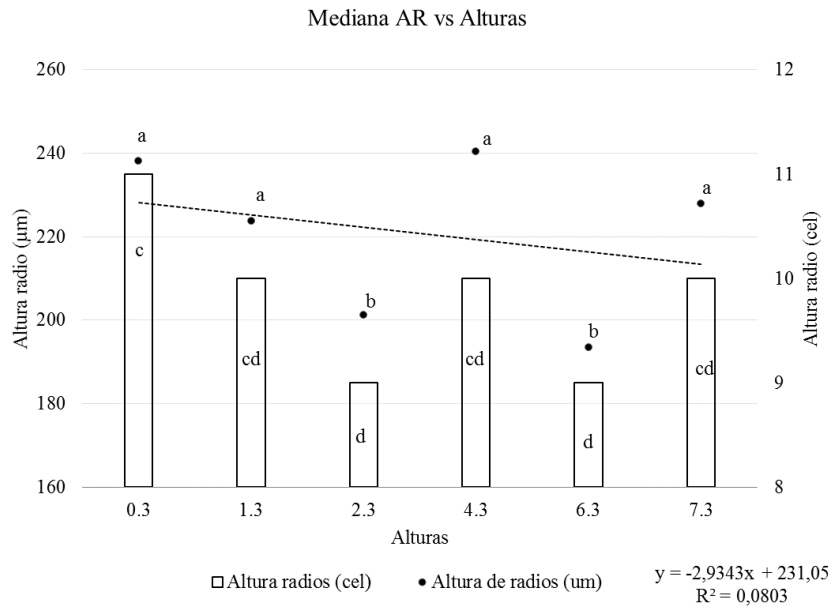


Figura 16: Mediana altura de radios (AR) versus Alturas. *Letras distintas indican diferencia estadística.*

En la Figura 16 se observa cómo los valores para la altura de radios medidos en micrones (μm) se encuentran dispersos, sin formar una tendencia clara. El resultado del análisis K-W manifiesta 2 grupos de valores diferentes estadísticamente entre sí. Los mayores valores denominados con la letra “a” se encuentran en las alturas 0,3; 1,3; 4,3 y 7,3 metros con valores 251,3; 225,5; 237 y 226 μm respectivamente, mientras que los valores del grupo “b” en las alturas 2,3 y 6,3 metros son menores, con 204,7 y 196,4 μm respectivamente. En forma paralela en el mismo gráfico observamos los datos de las alturas de radios medida en cantidad de células, encontrándose patrones similares al caso anterior: 2 grupos estadísticamente distintos, “c” con radios compuesto por 11 células de alto y “d” compuesto por radios con 9 células de alto, los cuales comparten un grupo central, “cd”, sin diferencia estadística para ambos, compuesto por radios con 10 células de alto.

2.2.3.2 Variabilidad Ancho de radios leñosos

El ancho de los radios, tanto del tipo uniseriados, biseriados como triseriados estuvieron presentes en distintas proporciones. La mayor proporción corresponde a los de tipo biseriados con un 55% del total, seguido por los radios uniseriados con un 42% y triseriados los cuales representan el 3% con apariciones ocasionales. En las Figura 17, Figura 18 y Figura 19 podemos observar 3 distintos escenarios con proporciones de anchos de radios distintos para cada caso.

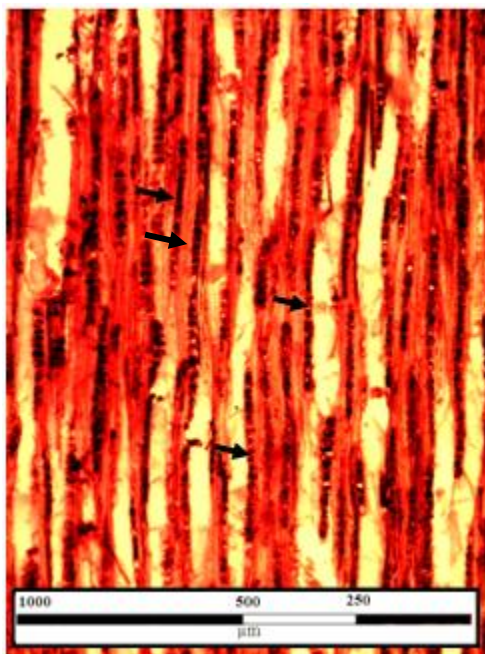


Figura 17: Radios Uniseriados. Flechas indican radios uniseriados. *Periodo B, altura 6,3 m, corte longitudinal tangencial (4x).*

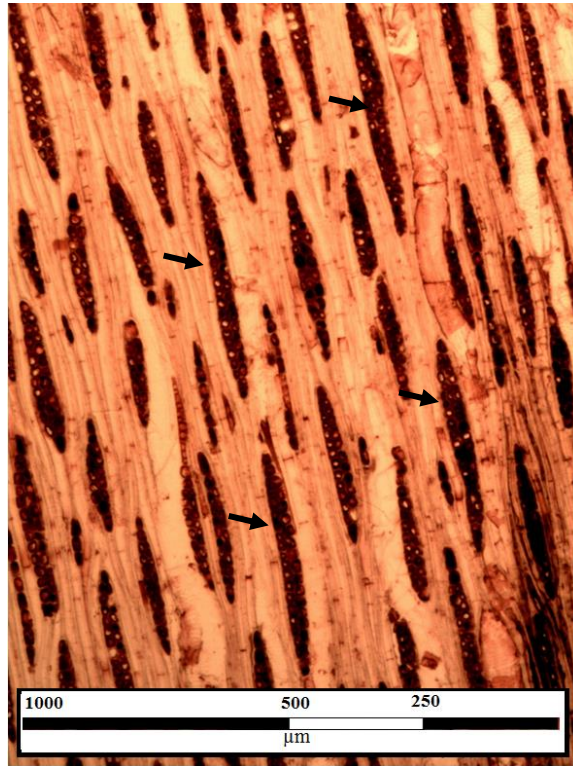


Figura 18: Radios Biseriados. *Periodo A, altura 0,3 m, corte longitudinal tangencial (4x).*

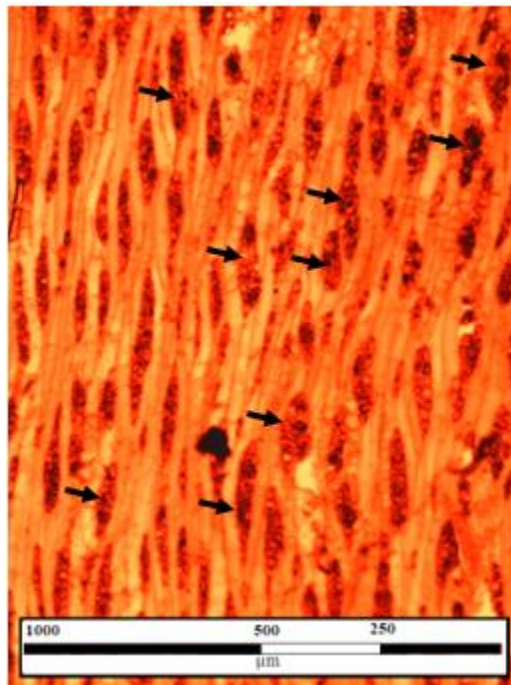


Figura 19: Radios Triseriados. *Flechas indican radios triseriados. Periodo C, Altura 2,3 m, corte longitudinal tangencial (4x).*

En las Figura 20 y Figura 21, se puede apreciar cómo los radios leñosos uniseriados denotan un aumento a mayores alturas en el árbol y una disminución conforme a la edad, ambas tendencias con un alto ajuste a un modelo lineal (sobre el 90% para ambos casos). El mismo modelo para los radios biseriados es menos categórico presentando niveles de ajuste menores al 50%. Finalmente, los radios triseriados, presentan una baja representatividad dentro del árbol, destacando la altura 2,3 en donde se encontraron la mayor cantidad de radios de este tipo. En ningún caso el análisis estadístico encontró diferencias significativas entre las medianas.

El número total de radios por milímetro cuadrado resultó constante a medida que aumentó la altura del árbol, sin embargo, disminuyen en número a medida que aumenta su edad.

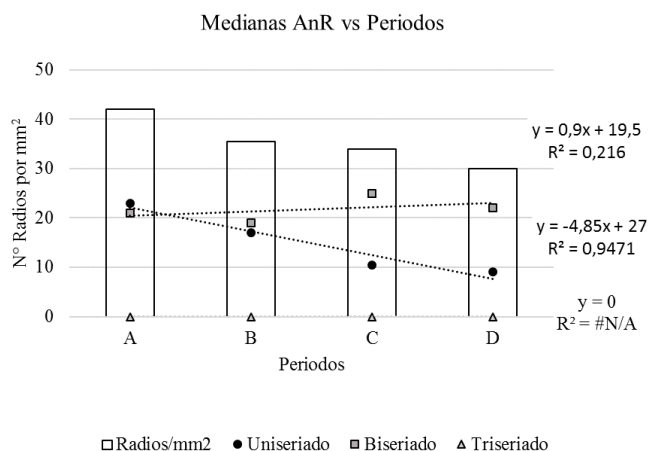


Figura 20: Mediana Ancho de Radios (AnR) versus Periodos.

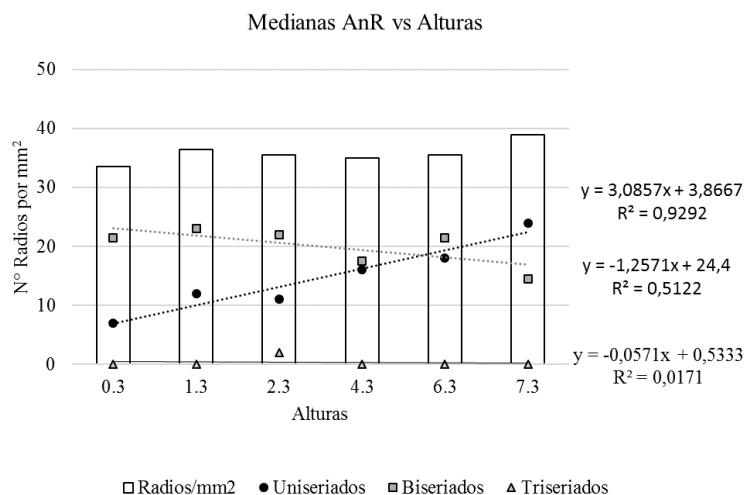


Figura 21: Medianas Ancho de radios (AnR) versus Alturas.

Al comparar el estudio de León (2010) con los resultados de este trabajo, se plantean diferencias para el ancho de radio y para la altura, en tal estudio se diagnostica un aumento del largo de los radios desde la médula a la periferia del árbol. En León y Espinoza (1998) tampoco se encuentran similitudes con el presente estudio. En tal estudio, se observó una disminución de la altura del radio desde la medula a la corteza; además, el número de radios se mantiene constante a través de las edades, lo que indicaría que el comportamiento que tienen los radios dentro del árbol no respondería en totalidad al factor altura o diámetro, sino que respondería a otros factores. López (2015), indica que la función de estas células corresponde a almacenamiento y transporte minerales, carbohidratos, sustancias orgánicas nitrogenadas y fitohormonas, por lo cual las características de su conformación podrían responder a la condición nutricional de cada individuo y las estrategias de vida de cada especie.

2.3 Descripción anatómica

La especie presenta porosidad difusa, con tendencia semicircular, anillos de crecimiento notorios, sin observarse diferenciación macroscópica entre albura y duramen. Los vasos de mayor diámetro generalmente se encuentran al inicio del anillo de crecimiento, disminuyendo su diámetro en la madera tardía, encontrándose en su interior frecuentemente tilósis. Cristales abundantes en distintos sectores del fuste, y parénquima difuso escaso, apotraqueal y paratraqueal. En el Cuadro 3 se resumen los resultados en forma completa asociados a la figura correspondiente donde se muestra un ejemplo de cada estructura.

Vasos:

Poros solitarios abundantes, agrupados y en series radiales de 2 a 9 células, pudiéndose encontrar conjuntos de hasta 11 poros. La densidad de poros por mm^2 es alta, 130 - 162 (44,8) - 237. El diámetro tangencial de los vasos es pequeño, $15 \mu\text{m} - 47,5 \mu\text{m}$ (16)- $118 \mu\text{m}$, con un largo de vaso mediano de $251 \mu\text{m} - 581 \mu\text{m}$ (195)- $1000 \mu\text{m}$ y perforación simple. El diámetro tangencial de las punteaduras de los vasos es grande, de $9,4 \mu\text{m} - 15 \mu\text{m}$ (4.8 μm) - $34 \mu\text{m}$.

Fibras:

La longitud de la fibra es mediana $430 \mu\text{m} - 1042 \mu\text{m}$ (374)- $2043 \mu\text{m}$ (Figura 5D), diámetro estrecho $11,2 \mu\text{m} - 17,9 \mu\text{m}$ (2,8)- $22,7 \mu\text{m}$, lúmenes de valores de $4,4 \mu\text{m} - 7,4 \mu\text{m}$ (1,6) - $9,8 \mu\text{m}$ y paredes delgadas de $3,4 \mu\text{m} - 5,2 \mu\text{m}$ (18) - $6,8 \mu\text{m}$.

Radios:

La cantidad de radios por milímetro lineal es de 8 unidades, lo cual es considerado como una densidad media, son tipo heterogéneos II-B de la clasificación de Kribs (Kribs, 1935), donde una mayoría son biseriados, con una representatividad del 52%, seguido de los radios uniseriados, con un 37% y 11% de triseriados. La altura de estos es de $77,9 \mu\text{m} - 236 \mu\text{m}$ (92) - $617 \mu\text{m}$ y 2 - 10 (4)- 23 células.

Cuadro 3: Características anatómica cualitativas y cuantitativas considerando las diferentes alturas estudiadas.

Carácter	Descripción	Figura
Anillos de crecimiento visibles	Notorios	22
Porosidad	Difusa, semicircular ocasional	23
Poros solitarios	Abundante	5,6,23
Poros agrupados	Ocasional	5,6
Poros en series radiales	Presentes (2 a 9)	5,6
Densidad de poros (mm ²)	130 - 162 (44,8) - 237	24
Largo vasos (µm)	251 - 581 (195)- 1000	30
Diámetro vasos (µm)	15 – 47,5 (16)- 118	5,6
Placas de perforación	Simple	30
Punteaduras intervasculares	Areoladas, forma circular, elongada horizontal ocasional, disposición alterna-opuesta y rara escaleriforme	26,27,28
Largo fibra (µm)	430 - 1042 (374)- 2043	9,10
Diámetro fibra (µm)	11,2 – 17,9 (2,8)- 22,7	6,29
Lumen Fibra	4,4 – 7,4 (1,6) - 9,8	29
Pared de fibra (µm)	3,4 – 5,2 (18) - 6,8	29
Alto radios (µm)	236	17,18,19
Ancho radios (µm)	27	17,18,19
Radios uniseriados	Ocasional	17
Parcialmente biseriado	Si	18,19
Radios biseriados	Si	18
Radios triseriados	Ocasional	19
Radios mm	9-14	Sf
Radios mm ²	30-40	Sf
Parénquima axial	Paratraqueal y Apotraqueal difuso y muy escaso	29
Puntuaciones radiovasculares	Circulares – elongadas horizontalmente ocasionales	32
Clasificación Kribs	Tipo II B	17,18,19
Tilósis	Presente	25

Valor mínimo, promedio, desviación estándar entre paréntesis y valor máximo.



Figura 22: Rodela. Rodela correspondiente a la altura 1.3 metros.

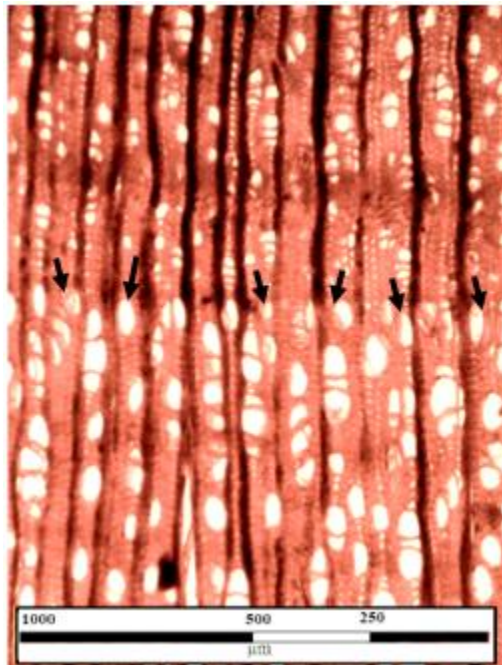


Figura 23: Porosidad difusa con tendencia a semi-circular. Flechas indican el anillo separando poros de mayores tamaños con poros de menor tamaño. Periodo A, altura 4,2m, Corte transversal (4x).

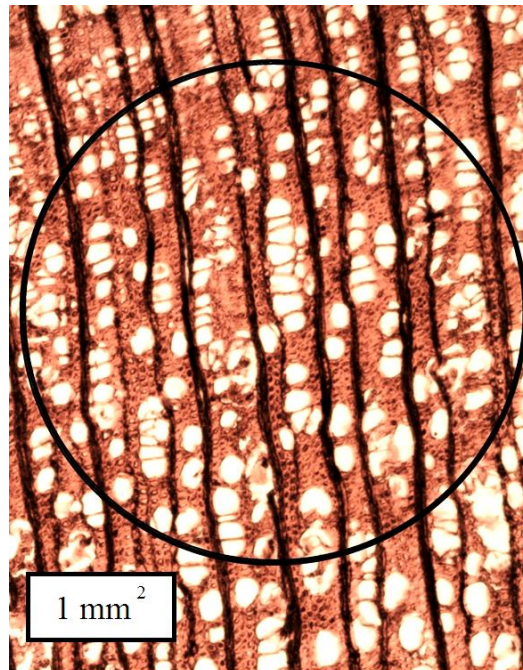


Figura 24: Medición de poros por milímetro cuadrado. *Circunferencia tiene área de 1mm^2 en donde se contabilizaron los poros. Periodo A, altura 2,3m, corte transversal (4x).*

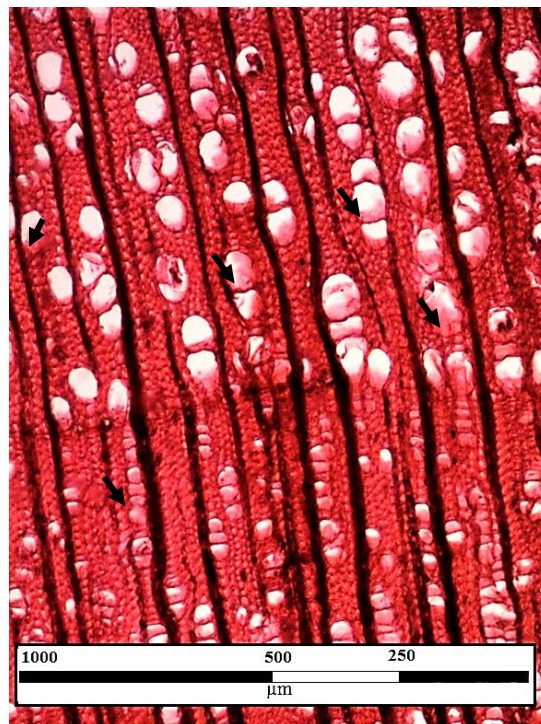


Figura 25: Poros ocluidos por Tilósis. *Flechas indican poros ocluidos. Periodo B, altura 4,3, corte transversal (4x).*

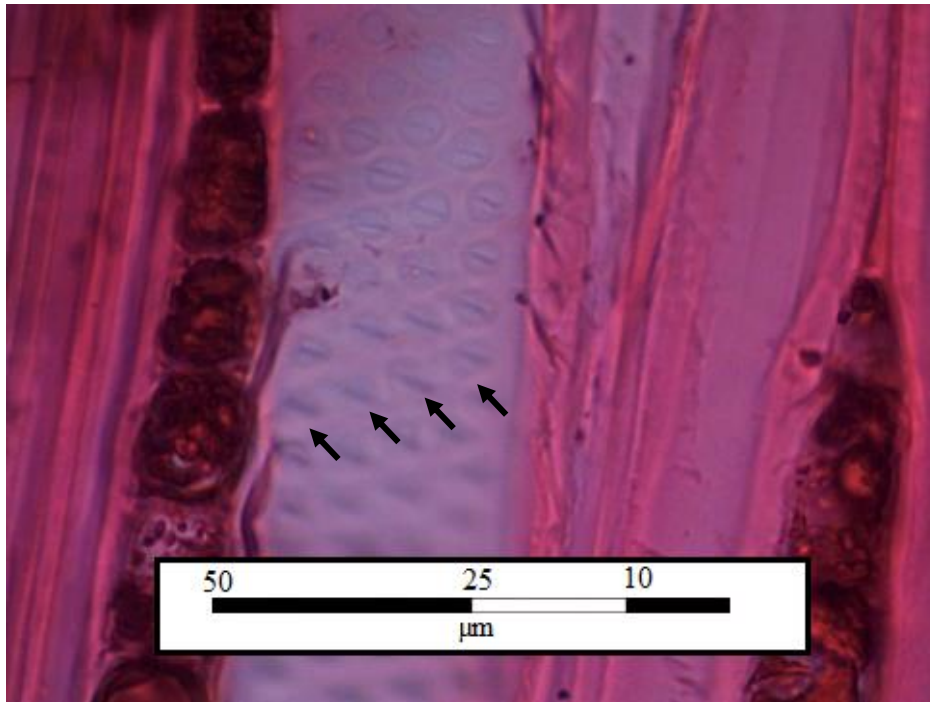


Figura 26: Punteaduras intervasculares circulares alternas. *Flechas indican punteaduras.*
Periodo D, Altura 0,3, corte longitudinal tangencial (40x).

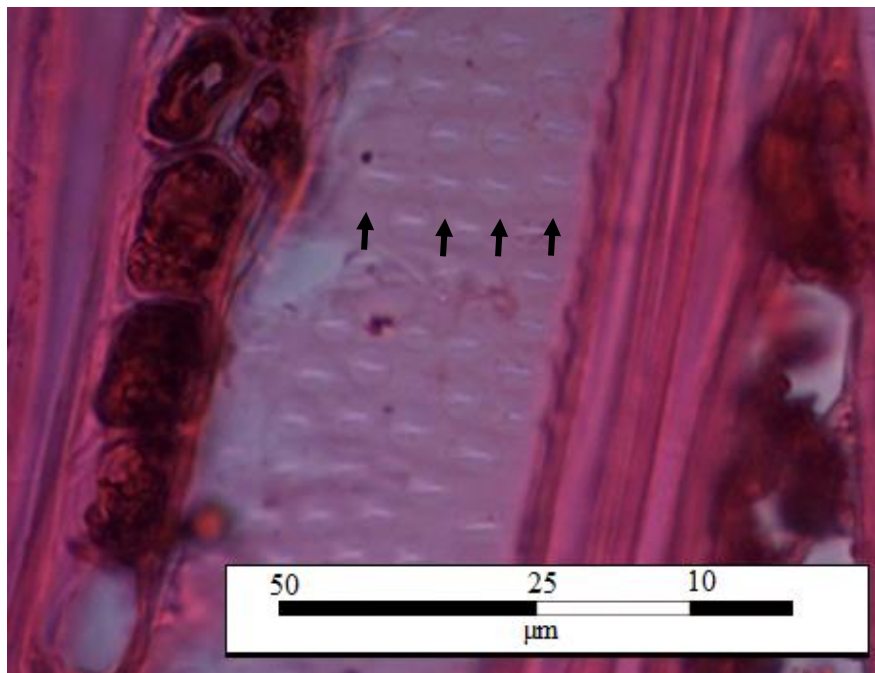


Figura 27: Punteaduras intervasculares circulares opuestas. *Flechas indican punteaduras.*
Periodo D, Altura 0,3, corte longitudinal tangencial (40x).

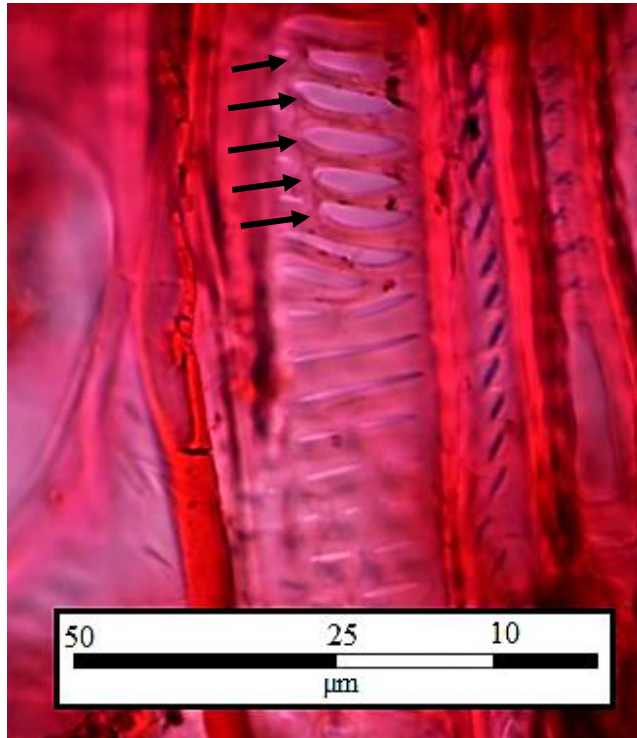


Figura 28: Punteaduras escaleriformes. Flechas indican punteaduras. Periodo D, Altura 6,3, corte longitudinal tangencial (40x).

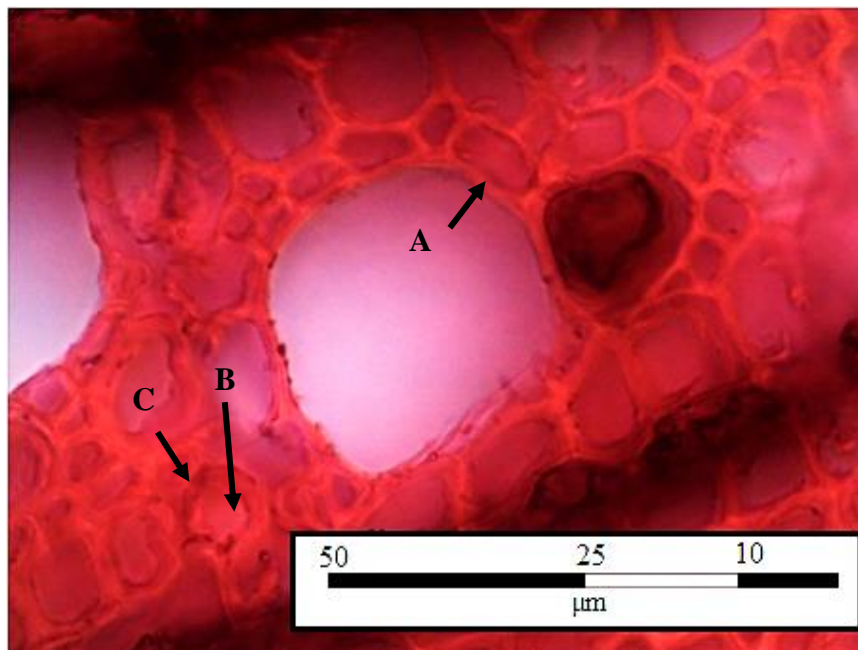


Figura 29: Célula parenquimática paratraqueal. A: indica célula parenquimática. B: Lumen fibra. C: Pared de fibra. Periodo C, Altura 6,3, corte longitudinal tangencial (40x).

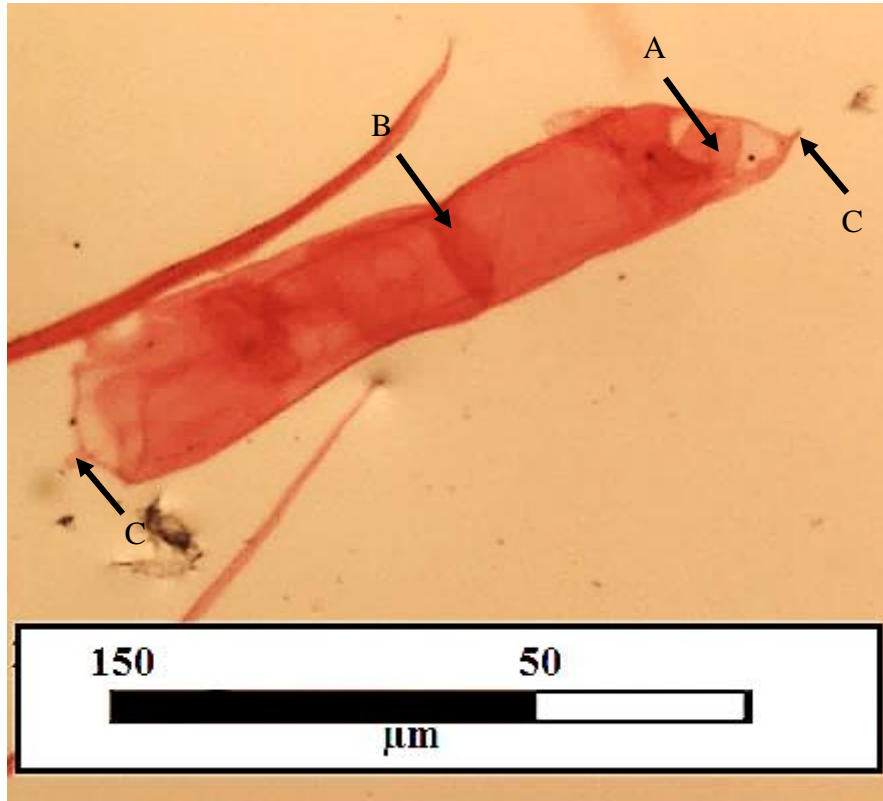


Figura 30: Segmentos vasos. A: Perforación simple. B: Unión vaso: C: Lígula. Periodo A, altura 1,3 m, macerado (10x).

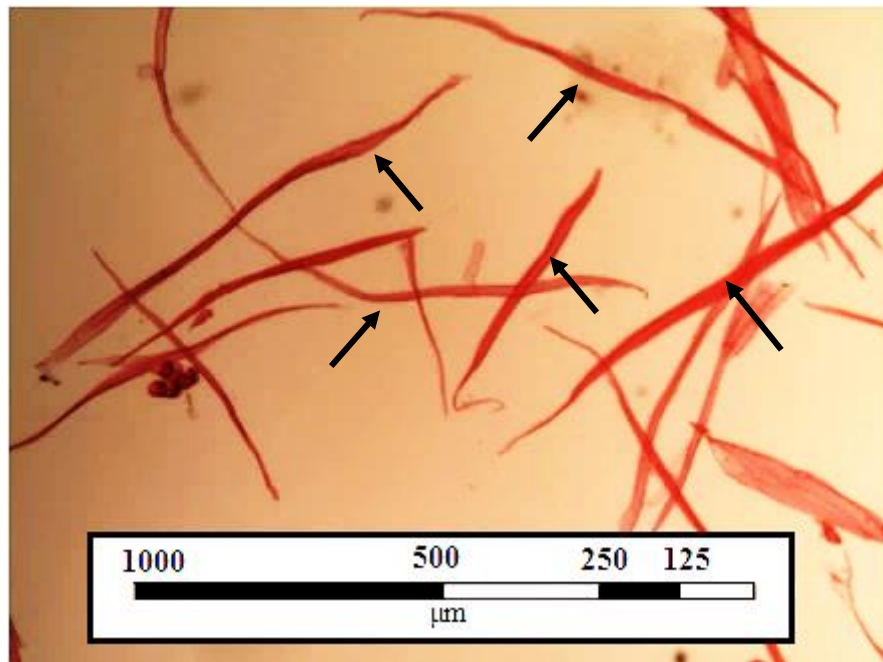


Figura 31: Fibras leñosas. Flecha indican fibras. Periodo A, altura 1,3 m, macerado (4x).



Figura 32: Punteaduras radiovasculares. *Circunferencia indica un campo de cruce. Periodo C, altura 1,3, corte longitudinal radial (40x).*

2.4 Comparación bibliográfica

Las principales descripciones anatómicas de la madera en *Nothofagus glauca* han sido realizadas por Wagemann (1949), Donoso (1972) y Rancusi (1987).

Todos los autores observaron anillos de crecimiento notorios, porosidad difusa, tilósis abundante, perforaciones simples, presencia de poros solitarios y agrupados en series radiales. Rancusi (1987) y Wagemann (1949) observaron series cortas, de 2 a 4 y de 2 a 6 células respectivamente, mientras que el presente trabajo y Donoso (1972) observaron series más largas, de 2 a 9 células y de 2 a 12 células respectivamente.

Para todos los autores las punteaduras son de tipo circular, areoladas, en disposición alterna; en tanto una disposición opuesta es datada en Rancusi (1987) y el presente trabajo, estando ausente en las descripciones de Wagemann (1949) y Donoso (1972). Las Punteaduras de forma elongadas tipo intermedia y escaleriformes fueron observables en el presente trabajo y en Donoso (1972).

El largo de vasos no está expresado en Donoso (1972) y Wagemann (1949), mientras que en Rancusi (1987) solo se expresa un rango de valores. Tal intervalo se analizó calculando la diferencia del valor mayor respecto al menor (Δ), este diferencial da cuenta que el presente trabajo tiene un intervalo mayor que los otros dos autores. El diferencial del presente trabajo

es de $\Delta 749 \mu\text{m}$, mientras que Wagemann (1949) y Rancusi (1987) obtuvieron $\Delta 350 \mu\text{m}$ y $\Delta 450 \mu\text{m}$ respectivamente.

Cuadro 4 :Comparación bibliográfica de caracteres anatómicos.

Característica/ Autor	Wagemann (1949)	Donoso (1972)	Rancusi (1987)	Presente estudio
Porosidad	Difusa	Difusa	Difusa	Difusa
Anillos de crecimiento visibles	Si	Si	Si	Si
Poros solitarios	Abundantes	Abundante	Ocasional	Abundante
Poros agrupados	Ocasional	Ocasional	Poco abundante	Ocasional
Poros en series radiales	De 2 a 6 poros	2 a 12 poros	De 2 a 4 poros	De 2 a 9 poros
Largo vasos (μm) mínimo-máximo- (promedio)	350 – 700 (Sd)	Sd	175 – 625 (Sd)	251 - 1000 (581)
Diámetro vasos (μm)	60	Sd	66	48
Placas de perforación	Simple	Simple	Simple	Simple
Punteaduras intervasculares	Areoladas, forma Circular, disposición alterna.	Areoladas, forma circular. disposición alterna, ocasionalmente escaleriformes	Areoladas, forma circular a semicircular, disposición alterna - opuesta	Areoladas, forma circular, elongada horizontal ocasional, disposición alterna- opuesta, ocasionalmente escaleriformes
Largo fibra (μm)	1000	Sd	1088	1042
Diámetro fibra (μm)	18	Sd	21	17
Pared de fibra (μm)	5	Sd	3.7 a 7.5	10
Alto radios (μm)	250	Sd	289	236
Ancho radios (μm)	30	Sd	31	27
Radios uniseriados	Sí	Si	Si	Si
Radios biseriados	Si	Si	Si	Si
Radios triseriados	No	Si	Sí	Si
Clasificación Kribs	Tipo II B	Tipo II B	Tipo II B	Tipo II B
Tilósis	Presente	Muy escasa	Presente	Presente

Fuente: Elaboración propia a partir de Wagemann (1949), Donoso (1972), Rancusi (1987).

El diámetro de vasos promedio de este estudio da cuenta de un diámetro tangencial promedio de 48 μm , en contraste a Wageman (1949) y Rancusi (1987) los cuales datan diámetros promedio de 60 μm y 66 μm respectivamente, esta diferencia en términos porcentuales corresponde a 25% y 38% respectivamente. Donoso (1972) no entrega este dato.

En relación a los radios, todos los autores describen radios uniseriados y biseriados tipo II B según la clasificación de Kribs. Wageman (1949) es el único autor que declara no haber encontrado radios triseriados. Sin embargo, el ancho medido en micrones no varía demasiado entre estudios, encontrándose valores entre 27 y 31 μm . Rancusi (1987) tiene en promedio alto de radios 22% más largos, mientras que para Wageman (1949) los radios fueron un 6% mayores. Donoso (1972) no data esta medición.

El largo de fibra promedio es muy similar entre autores, con diferencias aproximadas al 4%, con espesores de la pared en fibras es variadas, los estudios presentan valores disímiles, Wageman (1949) muestra valores de este parámetro que distan hasta en un 100% con otros estudios, en tanto Rancusi *et al* (1987), entrega el intervalo de valores más bajos respecto al presente trabajo.

Estas mediciones son de un alto nivel de detalle debido a lo delgado que son estos tejidos, por lo cual no se descarta que estas diferencias pudieran ser provocadas por la diferencia en precisión entre las tecnologías utilizadas en los años 1949, 1987 y 2017, años en que se publicaron los estudios, siendo esta brecha tecnológica la posible causal de esta diferencia.

2.5 Comparación con maderas fósiles

Existen indicios que hace aproximadamente 65 millones de años, a finales del cretácico superior y subperiodo Paleógeno (Torres & Rallo, 1985, Torres & Lemoigne, 1988, Poole, 2002), existían bosques constituidos por *Nothofagaceas*, *Araucariaceas* y *Podocarpaceas* abarcando una amplia distribución desde la península antártica hasta la zona Central de Chile. Existen acerca de 19 morfo-especies asociadas al género *Nothofagus*, de las cuales 14 han sido asociadas al sub género *Lophozonia* (Poole, 2002), los cuales se muestran en el Cuadro 5. Una de la característica más importantes para asociar especies fósiles al sub género *Lophozonia* es el ancho de los radios, los cuales presentan preferentemente radios biseriados, en menor proporción uniseriados y ocasionalmente radios triseriados (Torres & Rallo, 1985, Torres & Lemoigne, 1988, Poole, 2002). Las especies con mayor cantidad de radios triseriados son *Nothofagus glauca*, *Nothofagus leoni* y *Nothofagus obliqua* (Wagemann 1949).

Cuadro 5: Morfoespecies ligadas al género *Nothofagus*, subgénero *Lophozonia*.

<p><i>Nothofagoxylon neuquenense</i> Cozzo (1950) <i>Nothofagoxylon krausei</i> Boureau y Salard (1960) <i>Nothofagoxylon boureaui</i> Salard (1961) <i>Nothofagoxylon ruei</i> Salard (1961) <i>Nothofagoxylon menendezii</i> Ragonese (1977) <i>Nothofagoxylon pichasquensis</i> Torres et Rallo (1981) <i>Nothofagoxylon pseudoobliquum</i> Nishida (1984) <i>Nothofagoxylon aconcaguaense</i> Pons et Vincente (1985) <i>Nothofagoxylon ohzuanum</i> Nishida et Nasa (1986) <i>Nothofagoxylon palaeoglauca</i> Torres et Lemoigne (1988) <i>Nothofagoxylon triseriatum</i> Torres et Lemoigne (1988) <i>Nothofagoxylon paleoalessandrii</i> Torres (1990) <i>Nothofagoxylon paraprocera</i> Ancibor (1990) <i>Nothofagoxylon aggregatum</i> Pujana (2009)</p>

Fuente: Torres & Lemoigne (1988), Poole (2002) y Pujana (2009).

La comparación de la anatomía de *Nothofagus glauca* se realizó con cinco de estas morfo especies, *N. krausei* Boureau y Salard (1960), *N. pichasquensis* Torres et Rallo (1981), *N. triseriatum* Torres y Lemoigne (1988), *N. palaeoglauca* Torres et Lemoigne (1988) y *N. aggregatum* Pujana (2009). debido a que ya han sido relacionadas con *N. glauca*. En ellas se espera encontrar similitudes tomando principal atención en diámetro de poros y ancho de radios.

2.5.1 *Nothofagoxylon krausei* Boureau y Salard (1960)

Se realizó la comparación estudiando cuatro descripciones distintas para la morfoespecie, *N. krausei*, Boureau y Salard (1960), *N. krausei*, Poole (2002), Terada et al (2006) y Pujana (2009). Dentro de las distintas descripciones para este morfotipo se observan diferencias en: características cualitativas como presencia o ausencia de poros agrupados, de parénquima axial, de placas escaleriformes y radios triseriados. Por otra parte, existen diferencias cuantitativas, como en distinto largo de series radiales de poros, diferente densidad de poros, diferente altura de los radios y diámetro tangencial de poros. Los detalles de estas diferencias se pueden encontrar en Anexos, Cuadro 27.

Poole (2002) menciona que algunas características pueden variar dependiendo de la edad formativa, la altura en árbol, además de la preservación, es por esta razón que *N. ohzuanum* puede ser considerado sinónimo de *N. krausei*, ya que estas se diferenciaban en distinto largo de radios y presencia de radios triseriados. También comparte similitudes con *Nothofagoxylon paleoalessandrii*, *Nothofagoxylon aconcaguaense* y *Nothofagoxylon corrugatus*

2.5.1.1 Descripción

Descripción basada en el ejemplar de referencia: MPMPB 2106 en Pujana (2009)

Presenta anillos de crecimiento notorios, porosidad difusa con tendencia a semicircular, poros solitarios, poros en series radiales mayores a 5 elementos, sin encontrarse agrupados; una densidad promedio de 137 poros por milímetro cuadrado, con mínimos y máximos de 53 y 254 respectivamente. El diámetro de vasos va desde de 25 μm a 100 μm y 56 μm promedio (Figura 33A-B); placa de perforación simple con algunas excepciones con perforaciones escaleriformes (Figura 33F); puntuaciones intervasculares circulares a elongadas horizontalmente opuestas, alternas (Figura 33D) y escaleriformes ocasionales, punteaduras radio vasculares circulares y elongadas horizontalmente (Figura 33E). Los radios principalmente biseriados (Figura 33C), algunos parcialmente biseriados, multiseriados ausentes. La cantidad de radios por milímetro lineal es de 5 a 11 elementos.

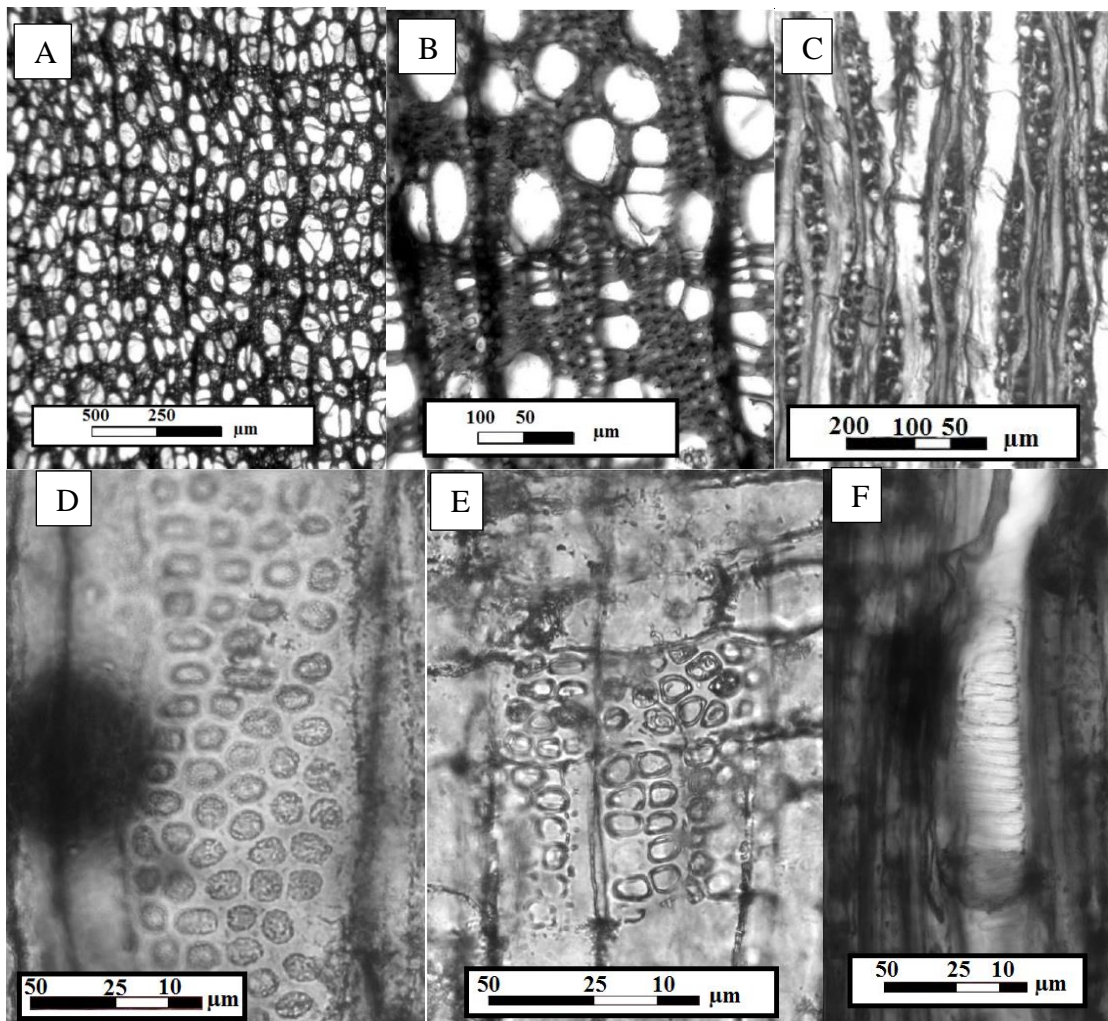


Figura 33: Madera de *N. krausseli*. A: Poros. Corte transversal (4x). B: Poros. Corte transversal (10x). C: Radios. Corte longitudinal tangencial (10x). D: Puntuaciones intervasculares. Corte longitudinal tangencial (40x). E: Puntuaciones radio vasculares. Corte tangencial radial (40x). F: Placa de perforación escaleriforme (40x). Corte longitudinal radial. Fuente: Pujana (2009)

2.5.1.2 Comparación *N. kraeuseli* – *N. glauca*

En los distintos ejemplares que han sido asignados a esta morfoespecie existen algunas diferencias de caracteres, como la presencia de poros agrupados, largo de las series de poros, densidad de los poros, presencia de parénquima axial y ausencia de placas escaleriformes, *mayor presencia de radios uniseriados, presencia de radios triseriados, altura de los radios y diámetro tangencial promedio* (Poole 2002; Pujana 2009), estos últimos cuatro caracteres, basados en el presente trabajo, pueden variar dependiendo la posición del árbol en que se saque la muestra.

Comparación cuantitativa

Una comparación cuantitativa entre estas morfoespecies y la madera actual de *N. glauca* muestra que todos los especímenes fósiles tienen una menor cantidad promedio de poros por milímetro cuadrado, en tanto el diámetro de los vasos muestra rangos y promedios muy similares. Valores entre 20 y 106 μm , media 47,5 μm en *N. glauca*, mientras en *N. kraeuseli* se observan diámetros entre 25 y 100 μm con promedio 56 μm en Boureau y Salard (1960), entre 13 y 110 μm , promedio 63,5 μm en Poole (2002), entre 20 y 95 μm (sin promedio), en Terada *et al* (2006) y valores desde 25 μm a los 100 μm , promedio 56 μm en Pujana (2009).

El largo de los vasos varía dependiendo del espécimen que analicemos, en el trabajo de Poole (2002) se muestran valores mayores que en el trabajo de Terada *et al* (2006), entre 566 a 956 μm , 759 μm promedio versus 203 μm promedio entre 70 y 420 μm respectivamente. El valor de este carácter en *N. glauca* en este estudio va desde los 251 a los 1000 μm , sin embargo, en el Cuadro 4 se puede apreciar cómo para otros autores estos valores tienen un carácter variable. Además, es importante considerar la dificultad que tiene medir esa variable en maderas fósiles. Por otra parte, el diámetro de fibra es similar, pero con paredes más delgadas en los fósiles.

Los valores de altura y ancho de radio se encuentran contenidos dentro del conjunto establecido en el estudio de variabilidad del presente estudio, el cual está entre 59 y 725 μm . Destaca la similitud de este rango con el declarado en Poole (2002), de 60 a 707 μm y el ancho de radios promedio idéntico entre el presente estudio y Terada (2006) de 27 μm .

Una proporción similar de radios uniseriados y biseriados como la expuesta por Terada *et al.* (2006) de 25% radios uniseriados y 75% biseriados, es posible encontrarla las edades tardías de las alturas basales, es decir desde los 0,3 a los 2,3 m entre los 20 años y 40 años (Periodo C y D).

Comparación cualitativa

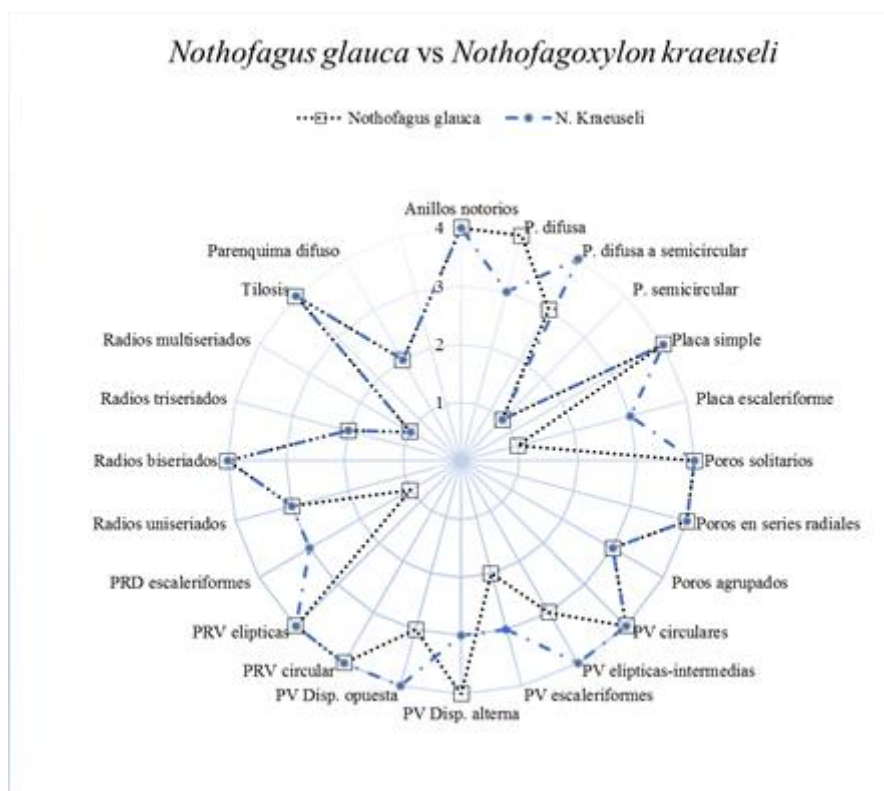


Figura 34: Comparación cualitativa *N. glauca* - *N. kraeuseli*. 4: Presente. 3: Ocasional. 2: Raro. 1: Ausente. Fuente: Elaboración propia en base a Boureau y Salard (1960), Poole (2002), Terada (2006), Pujana (2009) y el presente estudio.

En la Figura 34 podemos apreciar como similitud la presencia de tilosis y escaso parénquima difuso, anillos de crecimiento notorios, presencia de porosidad difusa con tendencia a semicircular, placa de perforación simple, presencia de poros solitarios, en series radiales y agrupados en forma ocasional. En ambos es posible encontrar principalmente puntuaciones vasculares circulares en disposición alterna u opuesta, siendo en *N. kraeuseli* la disposición opuesta, junto a puntuaciones en forma elíptica y escaleriforme, más frecuentes que en *N. glauca*. Las puntuaciones radiovasculares para ambos pueden ser circulares a elípticas, pero solo en *N. kraeuseli* se documenta del tipo escaleriforme. Los radios para ambos son principalmente biseriados, ocasionales radios uniseriados, raros triseriados y multiseriados ausentes. Una de las principales diferencias con *N. glauca* radica en la ausencia de placas escaleriformes en la especie actual.

2.5.2 *Nothofagoxylon aggregatum* Pujana (2009)

2.5.2.1 Descripción

Descripción basada en el ejemplar de referencia: MPMPB 1997 en Pujana, 2009

Anillos de crecimiento visibles, porosidad semi circular, vasos en series radiales de sobre 9 unidades, algunas veces agrupados de a 6 a 10 poros (Figura 35A). Los poros tienen un diámetro tangencial de 51 μm en promedio, con un rango de 27 a 88 μm , en una densidad promedio de 116 poros por milímetro cuadrado con un mínimo de 81 vasos a un máximo de 168 vasos. Placa de perforación simple, las puntuaciones intervasculares son principalmente alternas, ocasionalmente opuestas o escaleriformes. Principalmente radios triseriados, 68% (Figura 35B). Tilósis abundante, parénquima presente, difuso y usualmente compuesto por 4 a 7 células. Radios heterogéneos, mayoritariamente triseriados, presencia de radios uniseriados y biseriados.

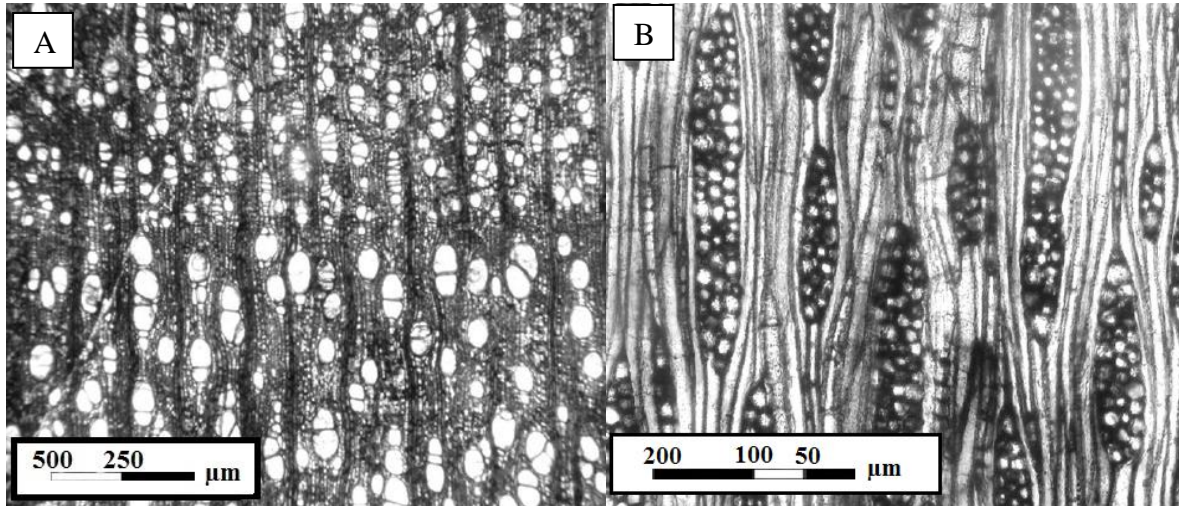


Figura 35: Madera de *N. aggregatum*. A: Poros. Corte transversal. B: Radios. Corte longitudinal tangencial. Fuente: Pujana (2009)

2.5.2.2 Comparación *N. aggregatum* – *N. glauca*

Existe solo un morfotipo asociado a *N. aggregatum*, el cual guarda mucha similitud con *N. triseriatum*, principalmente en la importante proporción de radios triseriados y presencia de radios tetraseriados, además de ambos tener porosidad semicircular, presencia de poros agrupados, poros en series radiales, tipo de punteaduras intervasculares y radiovasculares. Las principales diferencias radican en la cantidad mucho mayor de poros por mm^2 , vasos más cortos, presencia solo perforaciones simples y ausencia de engrosamiento espiralado en *N. aggregatum*

Comparación cuantitativa

En términos cuantitativos este espécimen en comparación a *N. glauca* presenta menor cantidad de poros por milímetro cuadrado, 116 contra 162 respectivamente, vasos de menor largo, desde 250 a 300 μm en el fósil y desde 251 μm a 1000 μm en la especie actual, series radiales más cortas, pero diámetro de poros similares, 51 μm (27-88 μm) para *N. aggregatum* y 47,5 μm (20-106 μm) para *N. glauca*.

Proporciones similares de radios triseriados en *N. aggregatum* fueron encontrados en el periodo C de la altura 2,3 metros para *Nothofagus glauca*.

Comparación cualitativa

Nothofagus glauca vs *Nothofagoxylon aggregatum*

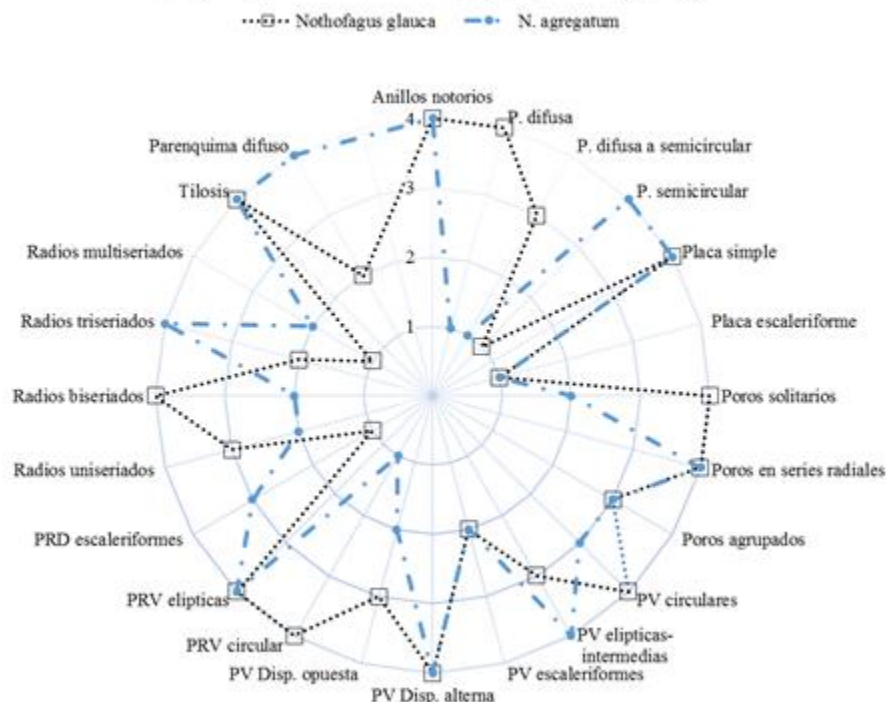


Figura 36: Comparación cualitativa *N. glauca* - *N. aggregatum*. 4: Presente. 3: Ocasional. 2: Raro. 1: Ausente. Fuente: Elaboración propia en base a Pujana (2009) y el presente estudio.

Las diferencias de este fósil con *N. glauca*, radican en la porosidad semicircular, poros solitarios ocasionales, menor cantidad de poros por milímetro cuadrado, series radiales más largas, y menor cantidad de radios triseriados que en la especie actual. Coinciden en tener puntuaciones alternadas y opuestas, pero la presencia de puntuaciones escaleriformes es característico de este fósil, los cuales se reportan escasa vez en la especie actual (Figura 36).

2.5.3 *Nothofagoxylon triseriatum* Torres et Lemoigne (1988)

Se encontraron tres descripciones asociadas a este fósil, *Nothofagoxylon triseriatum* Torres & Lemoigne (1988), *Nothofagoxylon triseriatum* Poole (2002) y *Nothofagoxylon triseriatum* Pujana (2009). Las principales diferencias entre las descripciones radican en que Torres & Lemoigne observan diámetro de poros más grandes y en menores densidades, Poole (2002) y Pujana (2009) no describen radios tetraseriados, además este último no observa poros agrupados, los radios son más delgados y la proporción de radios triseriados no llega al 50%.

Adicionalmente podemos comentar en contraparte que *N. triseriatum* muestra una alta compatibilidad con *N. aggregatum*, ya que su principal diferencia radica en ausencia de placas escaleriformes, adicionalmente los valores de densidad y diámetro de poros de caben

dentro del rango que ha mostrado *N. triseriatum*, por lo que estas especies podrían ser consideradas sinónimos.

2.5.3.1 Descripción

Descripción basada en el ejemplar de referencia A-PF-51 en Torres & Lemoigne, 1988

Anillos anuales notorios, porosidad difusa con tendencia semicircular, diámetro de poros de 40 μm a 260 μm y media de 200 μm , principalmente solitarios y en menor proporción agrupados o en series radiales de 2 a 4 poros, la densidad puede ser desde 10 a 30 poros por milímetro cuadrado (Figura 37A), el largo de vasos va desde 300 a 1000 μm con 500 μm en promedio, las placas de perforación pueden ser simples y ocasionalmente escaleriformes; las punteaduras intervasculares son areoladas o intermedias, opuestas, alternas, en tanto las punteaduras radio vasculares son circulares o elípticas, de 9 a 10 unidades por campo de cruce.

El largo de fibra va desde los 96 a los 720 μm con diámetro que van desde los 20 a los 30 μm , con paredes de 3 a 6 μm .

Los radios son heterogéneos, de 96 a 720 μm o 4 a 30 células de alto, con anchos de radio de 24 a 115 μm , siendo predominantes radios triseriados (67%) (Figura 37B), seguidos por los biseriados (26%) y ocasionalmente uniseriados (2%) y tetraseriados (5%). Presenta parénquima apotraqueal difuso, cristales y tilósis.

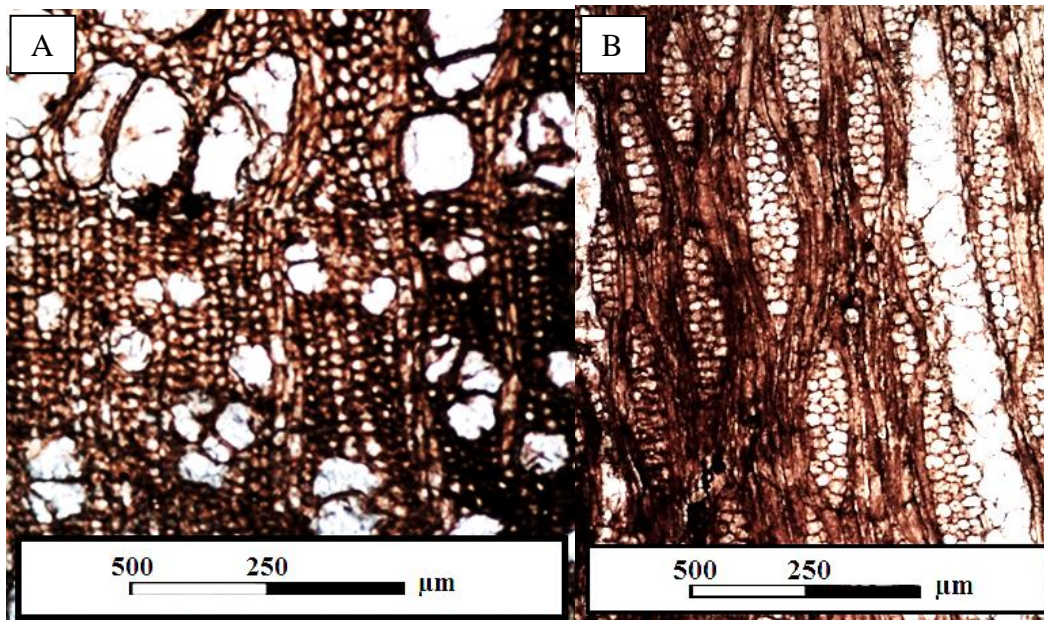


Figura 37: Madera de *N. triseriatum*. A: Poros. Corte tangencial. B: Radios. Corte longitudinal tangencial. Fuente: Laboratorio de Paleobotánica de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

2.5.3.2 Comparación *N. glauca* - *N. triseriatum*

Comparación cuantitativa

Las principales diferencias de *Nothofagoxylon triseriatum* (Torres & Lemoigne, 1988) con *N. glauca* radican en la menor cantidad de poros por milímetro cuadrado, los cuales van desde los 10 a 30 unidades, mientras que en *N. glauca* se presentan desde los 130 hasta las 237 unidades, y el mayor diámetro de poros, desde 40 μm a 260 μm con promedio 200 μm para ese espécimen, mientras que en *N. glauca* pueden variar desde 20 μm a los 106 μm , con promedio de 47,5 μm . Si observamos estos mismos parámetros en *Nothofagoxylon triseriatum* (Poole, 2002) y *Nothofagoxylon triseriatum* (Pujana, 2009) se pueden apreciar que también existen densidades de poros menores a la de la especie actual, desde 64 a 88 poros y desde 30 a 54 poros respectivamente. Los diámetros de poros son ligeramente mayores al promedio en *N. glauca*, encontrándose los valores dentro del rango de variabilidad de la madera actual. El largo de vasos para los 3 morfotipos es similar.

N. triseriatum (Torres & Lemoigne, 1988) tiene fibras más anchas de 20 μm a 30 μm y paredes más delgadas de 3 μm a 6 μm . La especie actual presenta fibras desde los 11 μm a los 22 μm con paredes de desde los 7 μm – 14 μm . Por otra parte, *N. triseriatum* (Poole, 2002) presenta diámetro de fibras con un rango similares a la especie actual, de 5 μm a 25 μm , pero con paredes más delgadas de 3 μm a 6 μm . *N. triseriatum* (Pujana, 2009) no presenta valores para este parámetro.

N. triseriatum (Torres & Lemoigne, 1988) presenta las siguientes proporciones de radios, uniseriados 6%, biseriados 26%, triseriados 67% y 5% para radios tetraseriados. Esta relación es muy similar a la que encontramos en la altura 2,3 metros, periodo C de la especie actual, en donde el porcentaje de poros triseriados es de 68%, biseriados 24% y uniseriados 8%. Para este mismo autor, se puede notar que los largos de radios se encuentran dentro de los rangos observados para la especie actual medidos tanto en micrones, como en cantidad de células. En tanto Poole (2002) observa radios más largos.

Comparación Cualitativa

Las principales similitudes entre este morfotipo y la especie actual radican en la notoriedad de los anillos de crecimiento, y la presencia de poros solitarios, en series radiales o agrupados ocasionalmente, además de similitud en las punteaduras intervasculares y radios vasculares. Las principales diferencias son, la presencia de porosidad difusa en *N. glauca* y porosidad predominante semicircular en *N. triseriatum*, además de la presencia de placa escaleriforme en el fósil (Figura 38).

Nothofagus glauca vs *Nothofagoxylon triseriatum*

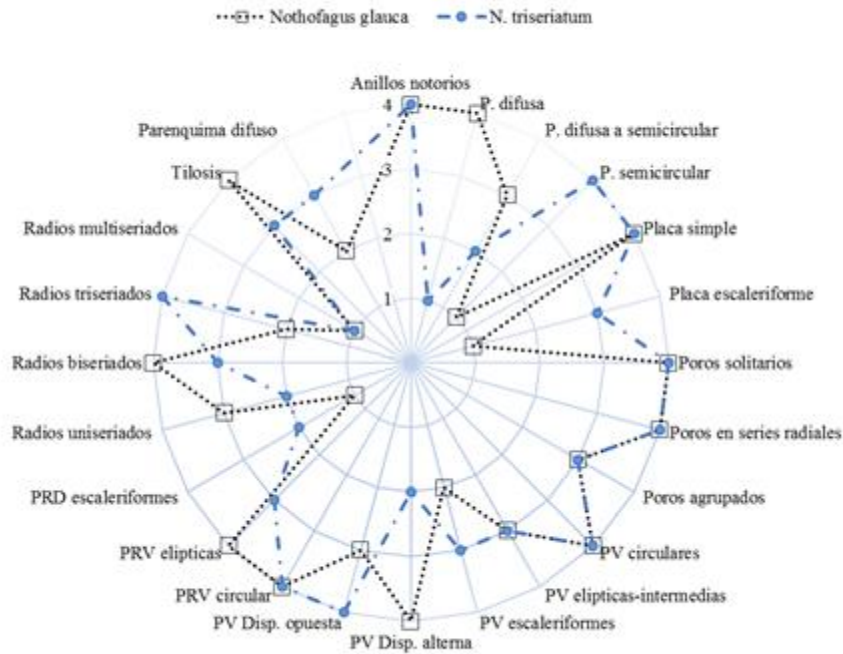


Figura 38: Comparación cualitativa *N. glauca* -*N. triseriatum*. 4: Presente. 3: Ocasional. 2: Raro. 1: Ausente. Fuente: Elaboración propia en base a Torres & Lemoigne, 1988, Poole, 2002, Pujana, 2009 y el presente estudio.

2.5.4 *Nothofagoxylon pichasquensis*

2.5.4.1 Descripción

Descripción basada en el ejemplar de referencia 10(11) en Torres & Rallo, 1981

Anillos de crecimiento indistinguibles, vasos dispuestos de forma uniforme en el anillo, en cadenas radiales de 2 a 6 elementos. Se observan en menor proporción poros solitarios y en cadenas radiales mayores a 10 unidades. El diámetro tangencial está entre 50 μm y 180 μm (Figura 39A) y el largo entre 200 μm y 700 μm . Placas de perforación simple. Puntuaciones circulares pequeñas en disposición opuesta y alterna. No presenta crecimiento espiralado. Los radios leñosos son biseriados principalmente (Figura 39B), en forma secundaria uniseriados y triseriados. La máxima altura es de 20 células o 500 μm y la mínima de 3 células, con promedio 10 a 12 células correspondientes a 200 μm . Las fibras tienen una sección transversal poligonal, lumen redondeado y paredes delgadas. Cuenta con parénquima apotraqueal difuso y tilosis abundante.

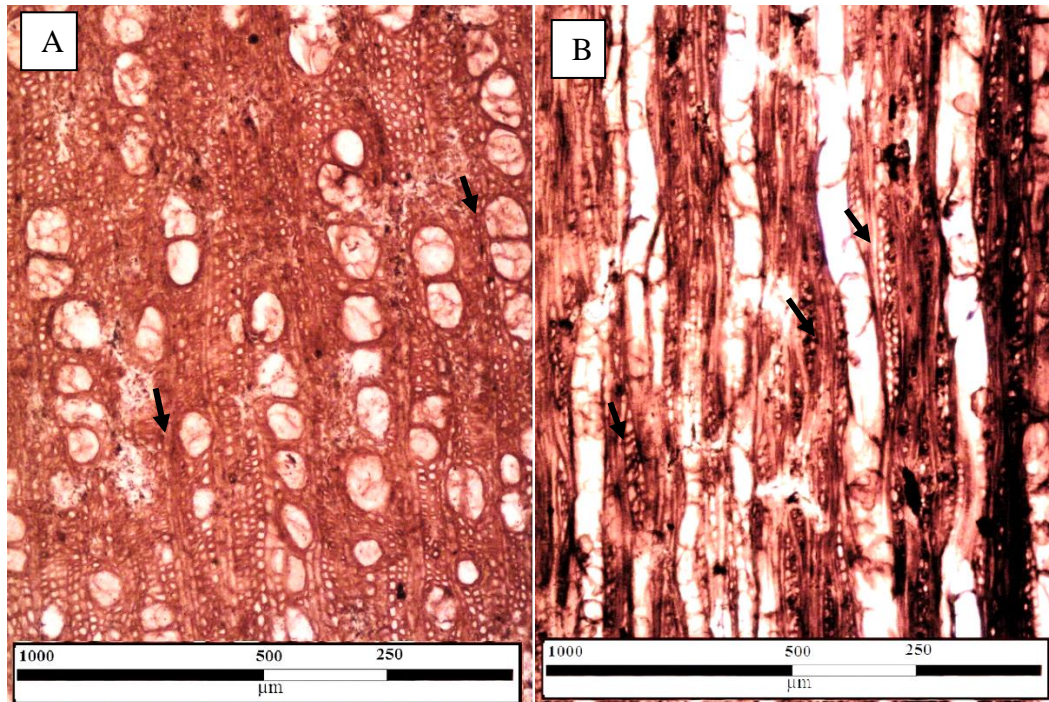


Figura 39: Madera de *N. pichasquensis*. A: flechas indican poros, Corte transversal (4x). B: flechas indican radios biseriados, Corte longitudinal tangencial (4x). Fuente: Laboratorio de Paleobotánica de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

2.5.4.2 Comparación *N. glauca* – *N. Pichasquensis*

Se encontró solo un morfotipo asociado a *N. pichasquensis*.

Comparación cuantitativa

Nothofagoxylon pichasquensis (Torres & Rallo, 1981) presenta diámetro de vasos más grandes, 50 μm a 180 μm en el fósil, y de 20 μm a 106 μm para la especie actual, el largo de vasos es más corto en el fósil, de 200 μm a 700 μm , mientras que en la especie actual estos valores van desde los 251 μm a los 1000 μm .

El valor promedio de largo de radio es muy similar entre los dos, 200 μm para el fósil y 236 μm para la especie actual. En tanto los valores del largo de radios medida en cantidad de células, realizadas para *N. pichasquensis* se encuentran dentro del rango entregado para *N. glauca*.

Se omiten los valores para densidad de poros, el diámetro de fibra y pared de fibra

Comparación cualitativa

Las principales similitudes son la presencia de porosidad difusa, placa de perforación simple y ausencia de placa escaleriforme, presencia de poros solitarios, agrupados y en series radiales, punteaduras intervasculares circulares opuestas y alternas, presencia predominante

de radios biseriados y la presencia de tilosis. Las principales diferencias son que el espécimen fósil no cuenta con anillos de crecimiento ni punteaduras vasculares elípticas o escaleriformes. No se entregan detalles de las punteaduras radiovasculares (Figura 40).

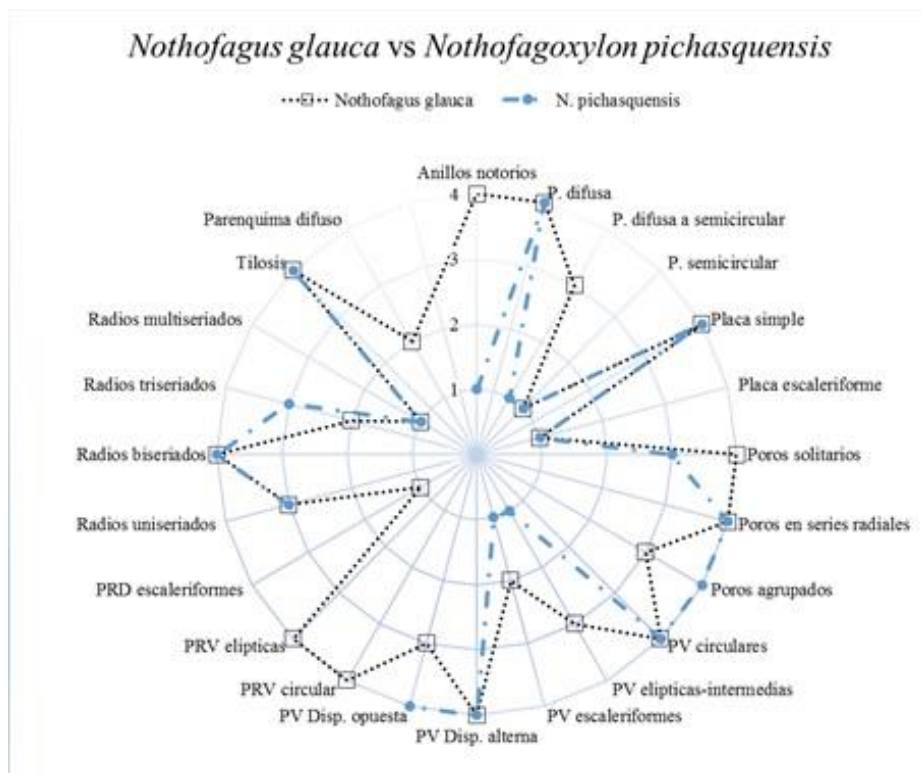


Figura 40: Comparación cualitativa N. glauca - N. pichasquensis. 4: Presente. 3: Ocasional. 2: Raro. 1: Ausente. Fuente: Elaboración propia en base a Fuente: Elaboración propia en base a: Torres & Rallo, 1981 y el presente estudio.

Este espécimen destaca en la similitud a la especie actual a nivel cualitativo. Dentro de esta similitud hay que tener en consideración que particularmente este fósil a pesar de ser datado en Cretácico superior, su estado de conservación es muy bueno, lo cual se refleja en las imágenes.

2.5.5 Nothofagoxylon paleoglauca

2.5.5.1 Descripción

Descripción basada en el ejemplar de referencia A-PF-46 en Torres & Lemoigne, 1988

Anillos anuales notorios, porosidad difusa, diámetro de poros de 60 μm a 270 μm (Figura 41A), principalmente solitarios, poros ocasionales en series radiales de 2 a 5 poros y ausencia de poros agrupados. La densidad de poros puede ir desde 12 a 48 unidades por milímetro cuadrado, con media 40 unidades. Las placas de perforación pueden ser simples y ocasionalmente escaleriformes; las punteaduras intervasculares son areoladas circulares o intermedias, opuestas o alternas (Figura 41B), en tanto las punteaduras radio vasculares son

circulares o elípticas, de 15 a 25 unidades por campo de cruce (Figura 41C). El diámetro fibra contempla diámetros desde los 15 μm a los 30 μm , con paredes de 3 μm a 6 μm . Los radios son heterogéneos, de 216 μm a 1260 μm o 6 a 35 células de alto, siendo predominantes radios biseriados, 60%, seguidos por los triseriados, 34%, y ocasionalmente uniseriados con un 6%. Presenta parénquima apotraqueal difuso y tilósis.

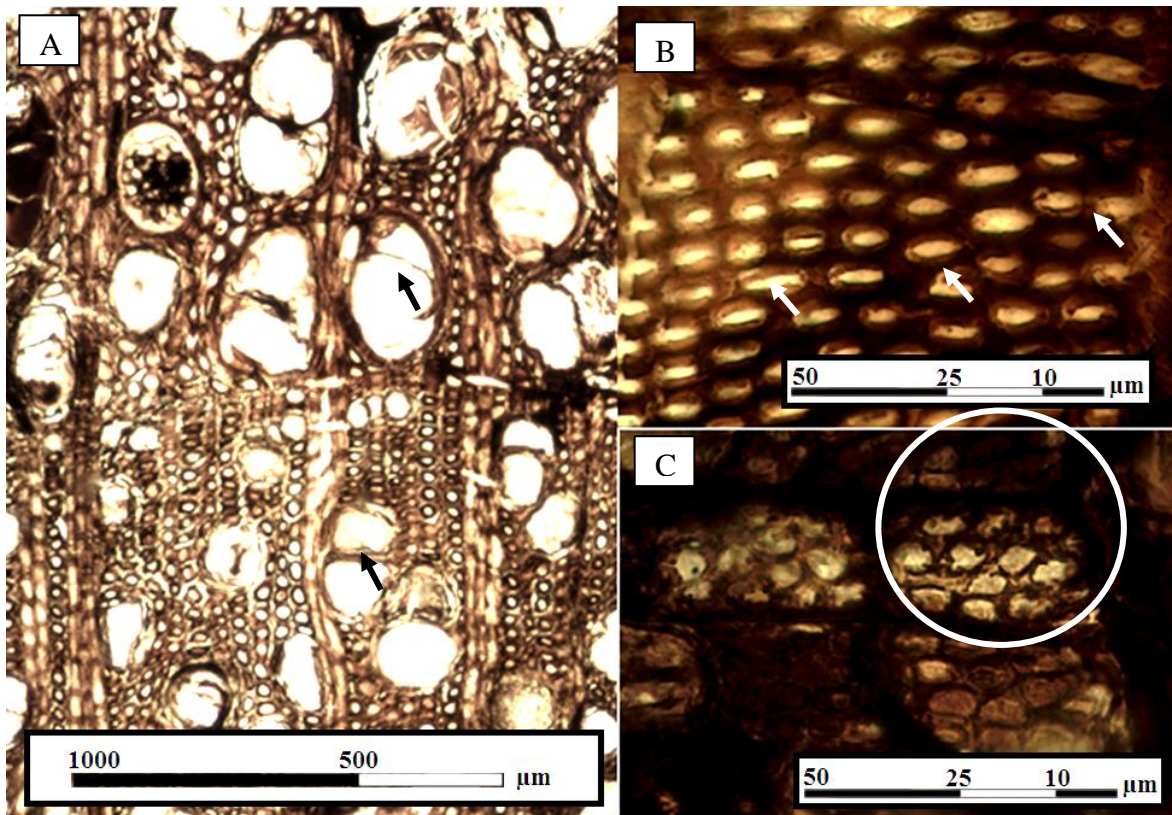


Figura 41: Madera de *N. paleoglauca*. A: Corte transversa (10x), flechas indican poros. B: corte longitudinal tangencial (100x), flechas indican punteaduras intervasculares en disposición alterna. C: Corte longitudinal radial (100x), circunferencia indica campo de cruce. Fuente: Laboratorio de Paleobotánica de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

2.5.5.2 Comparación *N. paleoglauca* - *N. glauca*

Se encontró solo un morfotipo asociado a *N. paleoglauca*

Comparación cuantitativa

N. paleoglauca se diferencia de *N. glauca* en presentar una menor densidad de poros, el fósil presenta un rango entre 12 a 48 poros por milímetro cuadrado, mientras que la especie actual presenta valores mucho más altos, de 130 a 237 poros por milímetro cuadrado. Por otra parte, existen diferencias en el tamaño de los poros, el fósil presenta diámetros del elemento que varían desde los 60 μm hasta los 270 μm , mientras que en la especie actual éstos van desde

los 20 μm a los 106 μm . Algo similar sucede para los diámetros de fibra, el fósil cuenta con mayores diámetros, de 15 μm a 45 μm y paredes más delgadas, de 3 μm a 6 μm en comparación con *N. glauca*, cuyos valores varían desde los 11 μm a los 22 μm y de 7 μm a 14 μm respectivamente. Por otra parte, el alto de radios a pesar de ser mayor para *N. paleoglauca* en términos lineales, no es mayor en cantidad de células. El fósil cuenta con radios que van desde los 216 μm a los 1260 μm , compuesto de 6 a 35 células, mientras que *N. glauca* cuenta con radios de 59 μm a 725 μm , compuesto de a 2 a 39 células.

Comparación cualitativa

Nothofagus glauca vs *Nothofagoxylon paleoglauca*

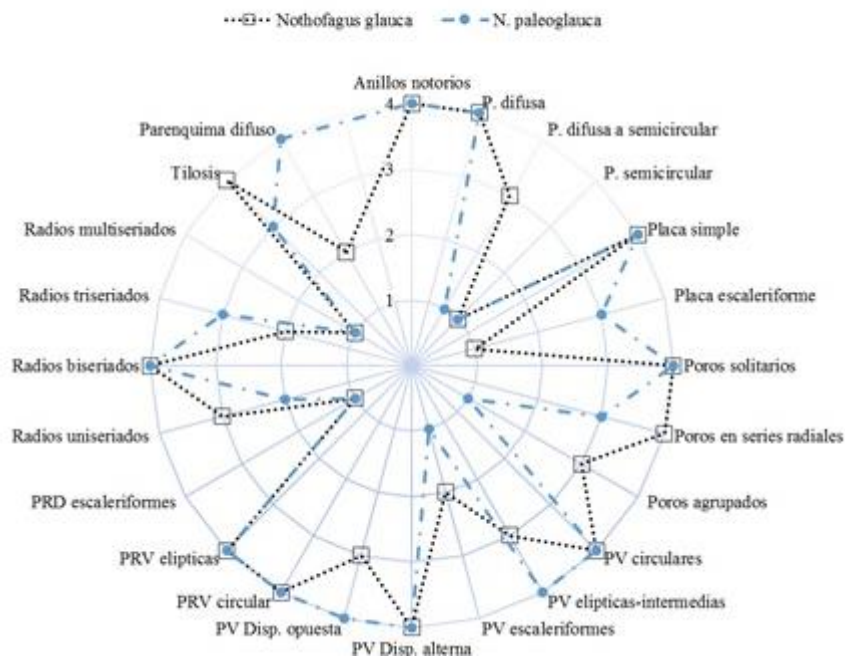


Figura 42: Comparación cualitativa *N. glauca* - *N. paleoglauca*. 4: Presente. 3: Ocasional. 2: Raro. 1: Ausente. Fuente: Elaborado en base a Torres & Lemoigne, 1988 y el presente estudio.

Dentro de los aspectos similares destacan que ambos tienen anillos notorios, su porosidad es difusa. Las punteaduras intervasculares circulares o elípticas de disposición alterna u opuesta y las punteaduras radiovasculares circulares y elípticas también son aspectos en común entre las dos maderas. Si bien otra similitud es la predominancia de radios biseriados, la cantidad de radios triseriados es mucho mayor a la que se ha encontrado en *Nothofagus glauca*. Otras diferencias son la presencia de placa escaleriforme, ausencia de poros agrupados y la mayor cantidad de parénquima difuso dentro de *N. paleoglauca* (Figura 42)

3 CONCLUSIONES

Dentro del estudio de variabilidad, el diámetro de poros posee una tendencia a aumentar y disminuir su diámetro alternadamente conforme la altura, tendencia que no había sido previamente descrita. En tanto en su relación la edad, se encontró una tendencia a aumentar el diámetro de poros desde medula a corteza, resultado que concuerda con diversos autores. Este comportamiento podría estar relacionado a la necesidad del árbol, de transportar el volumen de agua necesaria para su desarrollo, a medida que va creciendo.

El largo de fibra puede estar afectado por la altura, observándose fibras más largas en la base, y más cortas en el ápice, sería muy interesante entender las características físicas de la madera. Por otra parte, el no encontrarse diferencias significativas en función de la edad del árbol como lo han hecho otros estudios, podría tener explicación en que el árbol en estudio no alcanzó una madurez, momento en el cual se observaría la mayor diferencia de en largo de fibra.

El número de radios se mantiene constante en altura, no así a través de la edad, donde se observa una disminución, de este modo, al crecer el árbol, algunos de los radios irían desapareciendo. Las alturas de los radios se mantienen similares en altura y diámetro del fuste, por lo cual, los radios empezarían y terminarían con la misma cantidad de células desde la medula a la corteza. Es diferente la situación en los anchos de radios en donde la proporción de radios biseriados y triseriados cambian conforme a la edad y la altura, pero esto al parecer no puede ser explicado mediante las variables edad o altura en su totalidad.

Si bien para ninguna de las características de los radios se indicó diferencia estadística, a simple vista se pueden observar diferencias proporcionales entre radios biseriados y triseriados, es importante este punto, ya que este carácter se ha utilizado ampliamente en la literatura como diagnóstico en la relación madera Fósil – Actual.

De la comparación con especies fósiles podemos concluir que todos los especímenes expuestos muestran cierto grado de similitud con la especie actual, sin embargo las mayores similitudes a *Nothofagus glauca* se encuentran en *Nothofagoxylon pichasquensis*, debido a la presencia de porosidad difusa, placa de perforación simple y ausencia de placa escaleriforme, presencia de poros solitarios, agrupados y en series radiales, punteaduras intervasculares circulares opuestas y alternas, presencia predominante de radios biseriados y la presencia de tilósis.

Para establecer relaciones más acertadas, es importante complementar los estudios de maderas, con estudios de hoja y polen, de manera tal de obtener un grupo de características diagnóstico para establecer cercanías taxonómicas de mayor fidelidad.

4 BIBLIOGRAFÍA

- ANUCHIN, N. 1970. Forest Mensuration. Israel Program for Scientific Translation. Jerusalem. 454 p.
- BHAT, K.M., PRIYA, P. y RUGMINI, P. 2001. Characterisation of juvenile wood in teak. *Wood Sc. Tech.* 34: 517-532.
- BUTTERFIELD, R., CROOK, R., ADAMS, R. y MORRIS, R. 1993. Radial Variation in Wood Specific Gravity, Fibre Length and Vessel Area for Two Central American Hardwoods: *Hyeronima Alchorneoides* and *Vochysia Guatemalensis*: Natural and Plantation-Grown Trees. *IAWA Journal* 12(2):153-161.
- CARLQUIST, S. 1988. Comparative Wood Anatomy. Systematic, Ecological and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood. Springer-Verlag, Berlin.
- DONOSO, C. 1972. Análisis taxonómico y de distribución de las especies caducifolias del género *Nothofagus* en la zona central de Chile. Tesis para optar al título de ingeniero forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile. p.179
- DONOSO, C. 1993. Bosques templados de Argentina y Chile. Variación estructura y dinámica. Ecología forestal. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- FRANKLIN, G. L. 1938. The preparation of woody tissues for microscopic examination. Forest Products Research Laboratory 40.
- GONZALEZ, M. 1998. *Nothofagus glauca*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. [En línea] < <http://www.iucnredlist.org> > [visitado el 15 Noviembre, 2014]
- HECHENLEITNER P, M GARDNER, P THOMAS, C ECHEVERRÍA, B. ESCOBAR, P BROWNLESS y C MARTÍNEZ. 2005. Plantas Amenazadas del Centro-Sur de Chile. Distribución, Conservación y Propagación. Primera Edición. Universidad Austral de Chile y Real Jardín Botánico de Edimburgo, Valdivia. 188 p.
- HEENAN, P. & SMISSEN, R. 2013. Revised circumscription of *Nothofagus* an recognition of the segregate genera *Fuscospora*, *Lophozonia*, And *Trisyngyne*. *Phytotaxa* 146 (1):1-31
- IAWA COMMITTEE. 1989. IAWA List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Journal* 10(3): 219-332.
- IGARTUA D., MONTEOLIVA, S. 2010. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. *Bosque* 31(2):150-156.
- INSTITUTO DE BOTANICA DARWINION, 2017. Catálogo de pls. Vasculares de Flora del Cono Sur. [En línea] < <http://www.iucnredlist.org> > [visitado el 24 de Noviembre, 2017]
- JOHANSEN, D. 1940 Plant Microtechnique. McGraw-Hill Book Co., New York.

- KRIBS, D. 1935. Salient lines of structural specialization in the wood rays of dicotyledons. *Bot. Gaz.* 96: 547-557.
- LEÓN, H. & ESPINOZA, D. 1998. Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana*, (Borraginácea) en sentido transversal. *Revista Forestal Venezolana* 42(1): 15-23
- LEON, W. 2010. Variabilidad de la madera de *Swietenia macrophylla* King proveniente de plantaciones de 10 años de edad (Caparo, estado Barinas, Venezuela). *Revista Forestal Venezolana*, Año XLIV. 54(2) pp.169-182
- LEON, W. y M. QUINTERO. 2007. Variabilidad de los vasos en *Gmelina arborea* Roxb. (Verbenaceae) proveniente de plantaciones del estado Portuguesa (Venezuela). *Revista Forestal Venezolana*. 51: 97-113.
- LÓPEZ, J. 2015. Unidad de aprendizaje: Anatomía de plantas cultivadas. Facultad de ciencias agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de Mexico. Mexico.
- MEDINA, A., DIONISIO, A., LAFFITTE N., ANDÍA, L. y RIVERA, S. 2013. Variación radial y axial de longitud de fibras y elementos de vaso en *Nothofagus nervosa* (Nothofagaceae) de la Patagonia Argentina. *Revista Madera y bosques*, 19(2), 7-19.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA). 2016. Clasificación de Especies según Estado de Conservación en Chile. Chile.
- MOGLIA, J. y LOPEZ, C. 2001. Variabilidad radial de algunos caracteres anatómicos de *Aspidosperma quebracho* blanco. *Revista bosque* 22(2): 3-14
- MOREIRA, A. 2004. *Nothofagus* Bl., pieza clave en la reconstrucción de la biogeografía del hemisferio austral. *Revista Jardín Botánico Chagual* 2: 48-56.
- PEZLEN, I. 1994. Influence of age on selected anatomical properties of *Populus* clones. *IAWA Journal*, 15(3), 311-321.
- POOLE, I. 2002. Systematics of Cretaceous and Tertiary *Nothofagoxylon*: implications for Southern Hemisphere biogeography and evolution of the Nothofagaceae. *Australian Systematic Botany* 15: 247-276.
- RAMIREZ, C. 1987. Importancia del género *Nothofagus* y su importancia en Chile. *Bosque* 8(2):71-76
- RANCUSI, M. H.; NISHIDA, M. y NISHIDA, H. 1987. *Xilotomy of Important Chilean Woods*. In Nishida, M. (ed) *Contributions to the botany in the Andes II*. Ed. Academy Scientific Book, Tokio. pp. 68 –158.
- RIVERA, S.M. 1973-2002. Aporte de la xilología al estudio dendrocronológico de *Nothofagus* en la Argentina. *Ianigla*. 25-29

RULLIATY, S. y AMERICA. 1995. [En línea]. Poster 266: Natural variations in Wood quality indicators of Indonesian big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). <<http://www.metla.fi/>. htm> [Visitado el 18/08/2016].

TORRES, T. 2003. Antártica un mundo oculto bajo el hielo. Publicación especial Instituto Antártico Chileno, pp.95, 40. Lam., 150 Figs.

TORRES, T. y LEMOIGNE, Y. 1988. Maderas fósiles terciarias de la Formación Caleta Arctowski, Isla Rey Jorge, Antártica. Serie Científica Instituto Antártico Chileno 37: 69–107.

TORRES, T. y RALLO, M. 1981. Anatomía de troncos fósiles del Cretácico Superior de Pichasca en el norte de Chile. In ‘Anais do II Congresso Latino-Americano de paleontologica’ Vol. I. (Ed. YT Sanguinetti) pp. 385-389.

URBINATI, C., AZEVEDO, A., SILVA, E. y LISBOA, P. 2003. Wood structural quantitative variation of the *Terminalia ivorensis* A. Chev., Combretaceae. Acta Botanica Brasilica,17(3): 421-437.

WAGEMANN, G. 1949. Maderas chilenas. Contribución a su anatomía e identificación. Lilloa. 16. pp.263-375.

WILKENS, J. 1988. Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. IAWA Bull. n.s (9): 13-23.

WILLIAM, J., LEÓN, H., YEIXI, V. & GARCÍA, E. 2015. Aplicación de la anatomía de maderas en conservación y restauración de patrimonio cultural. Rev. For. Venezuela. 59: 35-45

ZOBEL, B. y J. VAN BUIJTENEN. 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer-Verlag. Berlín.

5 ANEXOS

Cuadro 6: Simbología y definiciones

Simbología	Significado
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
m	Metros
cm	Centímetro
μm	Micrones
DP	Diámetro de Poro
LF	Longitud de fibras
ARcel	Altura de Radios medido en cantidad de células
Arμm	Altura de Radios medido en micrones
AnR	Ancho de Radios medido en cantidad de células
Sd	Sin dato
Sf	Sin foto
Definiciones para comprender gráficos radiales	
Presente	Característica definida como presente para el morfotipo fósil en los distintos autores citados.
Ocasional	Característica definida como ocasional para cada autor de los morfotipos fósiles
Raro	Característica definida ocasional o presente, pero que no observada en todos los morfotipos para una especie fósil
Ausente	Característica que no es observada para el morfotipo

5.1 Cronodendrología del individuo

El individuo seleccionado alcanzó los 40 años aproximadamente, en los cuales obtuvo 15,5 centímetros de DAP sin corteza y 0,09 metros cúbicos en 9 metros de alto. El radio del individuo se agrupó en 4 periodos en orden alfabético, desde el centro hacia la periferia (A; B; C; D), constando cada periodo de 10 años. En la figura 4 se observa que los datos podemos separarlos en 2 etapas de desarrollo conceptuales, una de crecimiento rápido, líneas más espaciadas, y otra de menor crecimiento líneas menos espaciadas, en donde el **periodo A** representa la primera etapa de desarrollo, la mitad del incremento del árbol tanto en DAP, 51,6% del total, se produjo en los primeros 10 años con incrementos de 0,8 centímetros anuales, caso similar ocurre para la altura, llegando a 50% del total y tasas de 0,45 metros anuales, lo cual significó un volumen de 0,037 metros cúbicos al término de esta etapa correspondiente al 41,5% del total.

El **periodo B** muestra una disminución significativa en términos de incremento del DAP, siendo el periodo con menor incremento de todos, 0,2 centímetros anuales en promedio, tasa

cuatro veces menor que el periodo anterior, lo que significó un alza de 13,6%, alcanzando un 65,2% del DAP total para este estadio, la altura presenta también una disminución de la mitad a la tasa anterior, incrementos anuales promedio de 0,23 metros hizo alcanzar al individuo a 6,8 metros al terminar el periodo, altura que representa tres cuartas partes de la altura total. El volumen respondió en forma parecida al DAP del mismo periodo, coincidiendo en ser el periodo con menor incremento de todos, 12,7%, porcentaje, llegando a 54,2% del volumen total.

El **Periodo C y D** otorga resultados similares en cuanto al incremento del DAP con tasas de 0,28 y 0,22 centímetros anuales.

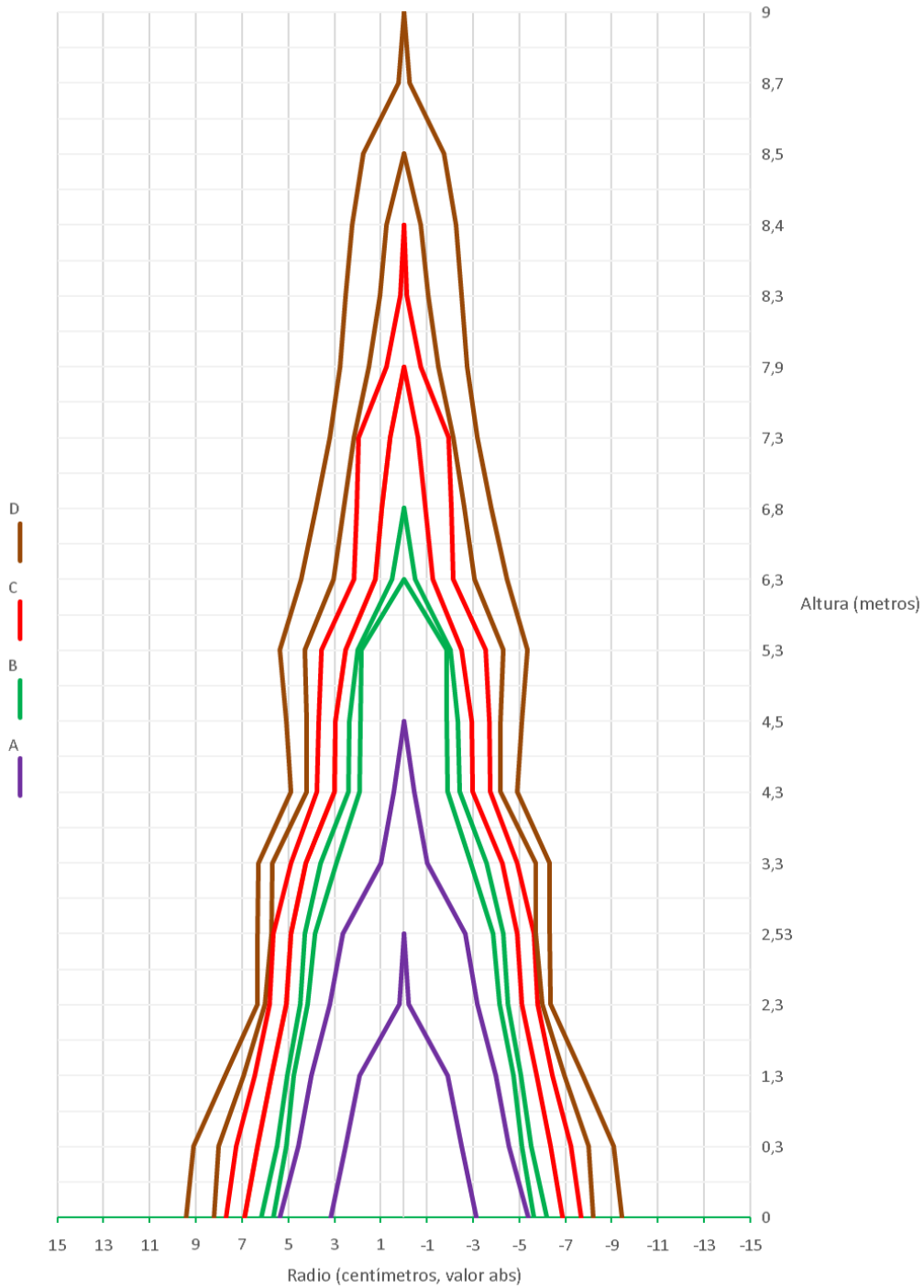


Figura 43: Modelo de crecimiento del individuo. *Periodo A (Morado): 0-10 años. Periodo B (Verde): 11-20 años. Periodo C (Rojo): 21-30 años. Periodo D (Café): 31- 40 años.*

5.1.1 Modelo de crecimiento del árbol por periodo

Cuadro 7: Crecimiento diámetro promedio anual cada 5 años.

Crecimiento promedio anual entre periodos (cm)									
Altura	42-40	40-35	35-30	30-25	25-20	20-15	20-10	10-5	5-0
0.3	0,35	0,3	0,3	0,36	0,34	0,16	0,22	0,82	1
1.3	0,3	0,2	0,2	0,28	0,28	0,12	0,3	0,84	0,76
2,3	0,1	0,08	0,08	0,28	0,24	0,14	0,38	1,2	0,08
4.3	0,15	0,2	0,32	0,26	0,26	0,28	0,76	0,4	
5.3	0,2	0,2	0,18	0,3	0,24	0,2	0,58	0,18	
6.3	0,45	0,24	0,3	0,42	0,24	0,06	0,7		
7.3	0,25	0,46	0,36	0,36	0,3	0,2			
8.3	0,3	0,3	0,08	0,54	0,24				
8.8	0,25	0,48	0,36	0,06					
Promedio	0,26	0,27	0,24	0,32	0,27	0,17	0,49	0,688	0,613

Cuadro 8: Incremento del DAP por periodo.

DAP alcanzado en cada periodo					
Periodo	DAP	%	ΔDAP	Δ%	Anual promedio
A	8	53,7%	8,0	53,7%	0,80
B	10,1	67,8%	2,1	14,1%	0,21
C	12,9	86,6%	2,8	18,8%	0,28
D	14,9	100,0%	2,0	13,4%	0,17

Cuadro 9: Incremento de la altura del árbol por periodo.

Altura de cada periodo						
Periodo	Años	Altura m	ΔCrecimiento	Crecimiento promedio (m)	anual	%
A	0-5	2,53	2,53	0,506		28%
	5-10	4,5	1,97	0,394		50%
B	10-15	6,3	1,8	0,36		70%
	15-20	6,8	0,5	0,1		76%
C	20-25	7,9	1,1	0,22		88%
	25-30	8,4	0,5	0,1		93%
D	30-35	8,5	0,1	0,02		94%
	35-42	9	0,3	0,06		100%

Cuadro 10: Incremento de volumen (Cm³) por periodo.

Periodo	Volumen (cm3)	Volumen	Incremento (m3)	Incremento%
D	135,96	0,0373928	0,037	42%
C	271,41	0,04879207	0,011	13%
B	518,75	0,06857942	0,020	22%
A	837,91	0,09005923	0,021	24%

5.2 Estadística descriptiva para madera de *Nothofagus glauca*

Cuadro 11: Prueba de Kruskal-Wallis en Diámetro de Poros (DP) vs Periodos.

Clasificación				
periodo	N	Mediana	del promedio	Z
D	174	50,72	455,1	12,29 A
C	180	43,64	311,1	-0,12 B
B	150	41,70	278,0	-2,69 C
A	120	35,79	150,9	-10,92 D
General	624		312,5	

H = 210,84 GL = 3 P = 0,000
H = 210,84 GL = 3 P = 0,000 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 12: Prueba de Kruskal-Wallis en Diámetro de Poros (DP) vs Altura.

Clasificación				
Altura	N	Mediana	del promedio	Z
0.3	120	43,11	311,5	-0,07 A
1.3	117	48,21	402,7	6,01 B
2.3	120	38,69	217,6	-6,41 C
4.3	120	43,07	316,9	0,30 A
6.3	90	41,74	250,5	-3,53 C
7.3	57	49,00	417,7	4,62 B
General	624		312,5	

H = 92,68 GL = 5 P = 0,000
H = 92,68 GL = 5 P = 0,000 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 13: Prueba de Kruskal-Wallis en Largo de Fibras (LF) vs Periodo.

Clasificación				
periodo	N	Mediana	del promedio	Z
A	74	860,9	123,4	-1,39
B	85	920,4	136,4	0,34
C	57	976,5	147,6	1,49
D	51	843,6	130,3	-0,38
General	267		134,0	

H = 3,35 GL = 3 P = 0,340
H = 3,35 GL = 3 P = 0,340 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 14: Prueba de Kruskal-Wallis en Largo de Fibras (LF) vs Altura.

Clasificación				
altura	N	Mediana	del promedio	Z
0.3	48	979,2	161,3	2,70 A
1.3	54	989,2	169,6	3,79 A
2.3	52	878,2	134,6	0,06 B
4.3	54	812,2	111,5	-2,40 BC
6.3	31	713,4	83,8	-3,85 C
7.3	28	864,9	116,4	-1,27 B
General	267		134,0	

H = 36,61 GL = 5 P = 0,000
H = 36,61 GL = 5 P = 0,000 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 15: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en micrones (AR μ m) vs Periodo

Clasificación				
Periodo	N	Mediana	del promedio	Z
A	151	228,0	273,3	1,04 a
B	149	229,1	270,0	0,72 a
C	123	212,7	237,1	-2,13 a
D	101	213,1	266,1	0,27 a
General	524		262,5	

H = 4,66 GL = 3 P = 0,199
H = 4,66 GL = 3 P = 0,199 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 16: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura en células de Radios (ARcel.) vs Periodo.

Clasificación				
Periodo	N	Mediana	del promedio	Z
A	151	10,000	258,6	-0,38 a
B	149	10,000	260,9	-0,15 a
C	123	9,000	244,9	-1,47 a
D	101	10,000	292,1	2,19 a
General	524		262,5	

H = 5,63 GL = 3 P = 0,131
H = 5,67 GL = 3 P = 0,129 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 17: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en micrones (ARum) vs Altura

Clasificación				
Altura	N	Mediana	del promedio	Z
0.3	101	251,3	313,3	3,75 a
1.3	101	225,5	265,3	0,21 a
2.3	102	204,7	232,9	-2,20 b
4.3	95	237,1	266,7	0,30 a
6.3	75	196,4	224,2	-2,36 b
7.3	50	226,4	264,0	0,08 a
General	524		262,5	

H = 20,18 GL = 5 P = 0,001
H = 20,18 GL = 5 P = 0,001 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 18: Prueba de Kruskal-Wallis en Altura de Radios medido en cantidad de células (ARcel) vs Altura

Clasificación				
Altura	N	Mediana	del promedio	Z
0.3	101	11,000	311,1	3,59 c
1.3	101	10,000	260,6	-0,14 cd
2.3	102	9,000	248,5	-1,04 d
4.3	95	10,000	256,8	-0,41 cd
6.3	75	9,000	225,2	-2,31 d
7.3	50	10,000	263,6	0,05 cd
General	524		262,5	

H = 15,98 GL = 5 P = 0,007
H = 16,09 GL = 5 P = 0,007 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 19: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Uniseriados vs Altura.

Clasificación				
Altura	N	Mediana	del promedio	Z
0,3	8	7,000	12,6	-1,08
1,3	8	12,500	16,3	0,28
2,3	8	11,500	14,9	-0,21
4,3	6	16,500	19,1	1,11
General	30		15,5	

H = 1,94 GL = 3 P = 0,585
H = 1,95 GL = 3 P = 0,583 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 20: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Uniseriados vs Periodos

Clasificación				
Periodo	N	Mediana	del promedio	Z
A	6	23,000	30,0	2,16
B	10	17,000	23,8	1,03
C	12	10,500	16,9	-1,28
D	12	9,000	16,6	-1,37
General	40		20,5	

H = 7,23 GL = 3 P = 0,065
H = 7,27 GL = 3 P = 0,064 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 21: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Biseriados vs Altura

Altura	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
0,3	8	21,50	26,3	0,91
1,3	8	23,00	26,8	1,03
2,3	8	22,00	23,9	0,33
4,3	6	17,50	16,2	-1,30
6,3	8	21,50	23,1	0,14
7,3	6	14,50	15,6	-1,42
General	44		22,5	

H = 4,86 GL = 5 P = 0,433
H = 4,89 GL = 5 P = 0,430 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 22: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Biseriados vs Periodos

Periodo	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
A	6	21,00	19,9	-0,53
B	10	19,50	24,1	0,45
C	14	23,25	23,2	0,25
D	14	21,75	21,8	-0,26
General	44		22,5	

H = 0,49 GL = 3 P = 0,921
H = 0,49 GL = 3 P = 0,921 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 23: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Triseriados vs Altura

Altura	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
0,3	8	0,000000000	16,0	-1,22
1,3	8	0,000000000	23,1	0,71
2,3	8	2,000000000	31,4	2,94
4,3	6	0,000000000	16,0	-1,02
6,3	6	0,000000000	16,0	-1,02
7,3	4	0,000000000	16,0	-0,81
General	40		20,5	

H = 10,88 GL = 5 P = 0,054
H = 20,42 GL = 5 P = 0,000 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 24: Prueba de Kruskal-Wallis en Radios Triseriados vs Periodo.

Periodo	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
A	6	0,000000000	21,8	0,30
B	10	0,000000000	20,2	0,09
C	12	0,000000000	21,2	0,24
D	12	0,000000000	19,4	-0,38
General	40		20,5	

H = 0,23 GL = 3 P = 0,973
H = 0,43 GL = 3 P = 0,935 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 25: Prueba de Kruskal-Wallis en radios por mm² vs Altura

Altura	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
0,3	8	33,50	18,7	-0,93
1,3	8	36,50	22,1	-0,11
2,3	8	35,50	22,4	-0,02
4,3	6	35,00	17,7	-0,99
6,3	8	38,25	26,4	0,96
7,3	6	38,50	27,8	1,09
General	44		22,5	

H = 3,35 GL = 5 P = 0,646
H = 3,36 GL = 5 P = 0,644 (ajustados para los vínculos)

Cuadro 26: Prueba de Kruskal-Wallis en radios mm² vs Periodo

Periodo	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
A	6	42,00	31,1	2,41
B	10	35,50	23,8	1,03
C	12	34,00	17,7	-1,00
D	12	30,00	15,3	-1,84
General	40		20,5	

H = 8,80 GL = 3 P = 0,032
H = 8,85 GL = 3 P = 0,031 (ajustados para los vínculos)

5.3 Cuadro comparativo entre madera actual y fósil

Cuadro 27: Comparación de *Nothofagus glauca* con especies fósiles.

	<i>Nothofagoxylon pichasquensis</i> (Torres & Lemoigne, 1981)	<i>Nothofagoxylon paleoglauca</i> (Torres & Lemoigne, 1988)	<i>Nothofagoxylon triseriatum</i> (Torres & Lemoigne, 1988)	<i>Nothofagoxylon triseriatum</i> (Poole, 2002)	<i>Nothofagoxylon triseriatum</i> (Pujana 2009)	<i>Nothofagoxylon krausseli</i> (Boureau y Salard, 1960)	<i>Nothofagoxylon aggregatum</i> (Pujana 2009)	<i>Nothofagus glauca</i> (Presente estudio)
Ejemplar referencia	10(11) P. Colección T. Torres	A-PF-46	A-PF-51	DJ.1055.66	MPMPB 1966, 1967	1410B	MPMPB 1997	
Edad	Cretácico superior	Paleógeno (Eoceno inferior)	Paleógeno (Eoceno inferior)	Paleógeno (Paleoceno temprano)	Paleógeno (Oligoceno)	Mioceno	Paleógeno (Oligoceno)	Actual
Lugar	Pichasca, Coquimbo, Chile	Isla Rey Jorge, Antartica, Chile	Isla Rey Jorge, Antártica Chile	Isla Seymour, Antártica, Chile	Cerro Calafate, Estancia La Laurita, Chubut, Argentina	Cerro Dorotea, Puerto Natales, Chile	Estancia La Laurita, Chubut, Argentina	Pantillos, Constitución, Chile
Porosidad	Difusa	Difusa	Difusa a semicircular	Semicircular	Semicircular	Difusa a semicircular	Semicircular	Difusa
Anillos de crecimiento	Ausentes	Visibles	Visibles	Visibles	Visibles	Sd	Visibles	Visibles
Poros solitarios	Ocasional	Abundante	Abundante	Si	Si	Sd	Sd	Abundante
Poros agrupados	Si	No	si	≥ 8	No	Sd	Si (6-10)	Ocasional
Poros en series radiales	De 2 a 6	De 2 a 3, hasta 5	De 2 a 4	Si 3	De 2 a 6	Sd	≥9	2 a 4 generalmente, hasta 9 ocasional
Poros/mm ²	Sd	12 – 48 (40)	10 a 30	80 (64-88)	40(30-54)	155	116(81-168)	162(130-237)
Largo vasos (µm)	200 – 700	Sd	500(300-1000)	520(330-670)	650	400 - 1000	250 -300	581 (251 a 1000)
Diámetro vasos (µm)	50 a 180	60 - 270	200 (40-260)	63(27,5-97,5)	80 (45-115)	15-95	51(27–88)	47,5 (20-106)
Placas de perforación	Simple	Simple, escaleriformes ocasional	Simple, escaleriformes ocasional	Simple, escaleriforme ocasional	Simple, escaleriforme ocasional	Simple y escaleriforme	Simple	Simple

Punteaduras intervasculares	Circular alterna – opuesta	Circular, intermedia, alterna - opuesta	Circular, intermedia alterna - opuesta	Circular Escaleriforme, Opuesta	Circulares a poligonales - opuesto	Alternas	Circular, alterna, Raro opuesta-escaleriforme	Circular, ocasional elíptica, raro escaleriforme disposición alterna -opuesta
Punteaduras radiovasculares	Sd	Redondas a elípticas (15 a 25/campo)	Circular- elíptica (9-10/campo)	Circular, elíptica, opuesta, escaleriforme	Circulares	Circular a elíptica	Elíptico, opuesto escaleriforme	Circular-elíptica
Diámetro fibra (µm)	Sd	15 a 45	20 a 30	13(5-25)	Sd	15,7	Sd	17(11 a 22)
Pared de fibra (µm)	Sd	3 a 6	3 a 6	4 (2,5-6)	Delgada	Delgada	Sd	11 (7 - 14)
Alto radios (µm)	200	216 a 1260	96 a 720	140-980	<1mm	Sd	Sd	236 (59 a 725)
Alto radios (cel.)	10 (3-20)	6 a 35	4 a 30	Sd	Sd	Sd	SD	2 a 39
Ancho radios (µm)	De 30 a 50	Sd	de 24 a 115	Sd	SD	30 a 40	Sd	27
Radios uniseriados	Si	Si (6%)	Si (2%)	Raro	No	Ocasional	Si (Raro)	Si (42%)
Radios biseriados	Si (Principalmente)	Si (60%)	Si (26%)	Si	Si	Si	Si (Raro)	Si (55%)
Radios triseriados	SI	Si (34%)	Si (67%)	Si (Principalmente)	Si (Principalmente)	Ocasional	Si (68%)	Si (3%)
Radios tetraseriados	No	No	Si (5%)	no	No	Sd	Si (Ocasional)	No
Radios/mm	Sd	4 a 9	Sd	9 a 11	7 a 12	6 a 11	4 a 8	8
Tipo de radio	Heterogéneo IIA (Kribs)	Heterogéneo IIA-IIB (Kribs)	Heterogéneo IIA y IIB (Kribs)	Heterogéneos	Heterogéneos	Heterogéneos I-IIA	Heterogéneos	Heterogéneo IIB (Kribs)
Parénquima Axial	Sd	Apotraqueal difuso	Apotraqueal difuso	apotraqueal - difuso	Sd	Raro	Presente	Raro y difuso
Series cristalíferas	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	Sd	S
Tilósis	Presente	Presente	Presente	Presente	Sd	Presente	Presente	Presente