

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA Y
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE
ULCUMANO (*Retrophyllum rospigliosii*) DE
UNA PLANTACIÓN DE 32 AÑOS ASOCIADA
CON CAFÉ EN VILLA RICA, PERÚ.**

Presentado por:

Sheyla Yanett Chumbimune Vivanco

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. SHEYLA YANETT CHUMBIMUNE VIVANCO, intitulado “CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE ULCUMANO (*RETROPHYLLUM ROSPIGLIOSII*) DE UNA PLANTACIÓN DE 32 AÑOS ASOCIADA CON CAFÉ EN VILLA RICA, PERÚ.”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 7 de julio de 2017

.....
Mg. Sc. Miguel Melendéz
Presidente

.....
Mg. Sc. Florencio Trujillo
Miembro

.....
Ing. Neptalí Bustamante
Miembro

.....
Mg. Sc. Manuel Chavesta Custodio
Asesor

Mg. Sc. Moisés Acevedo
Coasesor

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas, apoyo constante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesor Manuel Chavesta, a mi coasesor Moisés Acevedo por su apoyo constante, paciencia y enseñanza en esta etapa.

Agradecimiento especial al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) que mediante el el PP - 0130 Forestales realizó el financiamiento de la tesis, al Dr. Eloy Cuellar por la oportunidad brindada.

A los técnicos Vicente, David Huamán y al Sr. Eduardo Gonzales Q.E.P.D por su excelente trabajo en la preparación de probetas y apoyo en el laboratorio.

Al profesor Rolando Montenegro y Carlos Vargas por su ayuda en la parte estadística.

A mi familia por su apoyo y confianza depositada en mí, especialmente a mi madre por darme ánimos y estar siempre conmigo.

A mis compañeros tesistas, con quien compartí gratos momentos en los laboratorios, aprendimos más y nos ayudamos cuando fue necesario: Haru, Karina, Erick. A mis amigos que a pesar de sus ocupaciones me ayudaron en laboratorio: Rudy y Gerson y a mis amigas Erika y Andrea por animarme siempre.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la caracterización anatómica y evaluación de las propiedades físicas de la especie *Retrophyllum rospigliosii*, proveniente de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica – Pasco, analizando su variación en tres niveles del eje longitudinal y entre árboles. En la caracterización anatómica, se realizó la descripción macroscópica y microscópica de acuerdo a lo establecido por la norma IBAMA, además se clasificó según en IAWA de coníferas, como una especie con longitud de traqueidas mediana, radios muy finos y medianos. Además se encontró puntuaciones del tipo taxodiode y cupresoides, lo cual coincide con otros estudios para la misma especie. Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre niveles, además de acuerdo a los valores de coeficiente de variación nos permiten clasificarla como una madera homogénea. Las propiedades físicas que se evaluaron fueron: densidad básica y anhidra, contenido de humedad y contracción volumétrica, tangencial, radial y longitudinal tanto total como parcial. De acuerdo al análisis de varianza, se encontraron diferencias significativas; en cuanto a los niveles en la contracción tangencial y volumétrica total, y al comparar por árboles en las contracciones volumétrica, tangencial y radial. En la relación entre las características anatómicas y las propiedades físicas, los coeficientes de correlación encontrados son bajos, atribuyendo la variación de las propiedades físicas a otros factores distintos a la anatomía de la especie, que pueden ser explicados por la posición de la probeta y la presencia de madera juvenil, entre otras causas.

Palabras claves: conífera, traqueidas, densidad básica, variación longitudinal, sistema agroforestal.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Clasificación y descripción botánica.	3
2. Hábitat y distribución.	4
3. Descripción de la madera.	4
3.1. Características macroscópicas.....	4
3.2. Características microscópicas.....	4
3.3. Propiedades físicas de la especie.....	5
3.4. Usos de la madera	5
4. Principales propiedades físicas.	6
4.1. Contenido de humedad.....	6
4.2. Densidad básica.....	7
4.3. Contracción.....	7
5. Variabilidad de la madera.	8
5.1. Antecedentes de variación en las características anatómicas.....	9
5.2. Antecedentes de variación en las propiedades físicas.....	10
6. Interrelación entre la anatomía y las propiedades físicas de la madera.	12
7. Madera juvenil y madera tardía.	13
8. Agroforestería.	14
9. Tratamientos silviculturales.	15
III. Materiales y Métodos	17
1. Zona de estudio.	17
2. Lugar de ejecución.	17
3. Materiales y equipos.	17
3.1. Especie.....	17
3.2. Muestras de madera.....	17
3.3. Equipos para la preparación de probetas.....	18
3.4. Materiales y equipos de laboratorio.....	19
3.4.1. Materiales.....	19
3.4.2. Equipos de laboratorio.....	19
3.4.3. Materiales de oficina.....	20
4. Metodología.	21
4.1. Selección de las zonas.....	21
4.2. Selección y colección de muestras.....	23
4.3. Procesamiento de trozas.....	23
4.4. Estudio anatómico.....	23
4.5. Microtecnia de la madera.....	23
4.5.1. Preparación de láminas histológicas.....	23
4.5.2. Preparación de láminas con tejido macerado.....	24
4.5.3. Medición de elementos xilemáticos.....	25
4.5.4. Registro de imágenes.....	25
4.6. Métodos para determinar las propiedades físicas.....	25
4.6.1. Preparación de probetas para los ensayos físicos.....	25
4.6.2. Normas utilizadas para los ensayos físicos.....	25
4.7. Diseño experimental.....	26

IV. Resultados y discusión	27
1. Características anatómicas	27
1.1. Características generales.....	27
1.2. Características macroscópicas.....	27
1.3. Características microscópicas.....	29
1.4. Variación entre árboles y niveles.....	33
2. Propiedades físicas	39
3. Interrelación anatomía y propiedades físicas	45
3.1. Correlación.....	45
3.2. Regresión.....	46
4. Comparación entre dimensiones anatómicas y propiedades físicas considerando el estrato de procedencia del árbol	51
5. Comparación con especies de densidad básica similar	53
V. Conclusiones	55
VI. Recomendaciones	57
VII. Referencias bibliográficas	59
VIII. Anexos	65

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Características anatómicas (μm) de dos procedencias distintas	5
Tabla 2: Propiedades físicas de la madera de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> proveniente de bosque natural.....	5
Tabla 3: Descripción de los estratos de la plantación.	21
Tabla 4: Valores promedios de los elementos leñosos de la especie.	33
Tabla 5: Mediciones promedio de las elementos leñosos por nivel de corte.....	34
Tabla 6: Coeficiente de variación de los elementos leñosos	35
Tabla 7: Significancia entre los árboles y niveles en las características anatómicas.....	38
Tabla 8: Valores promedio de las características de contenido de humedad y densidad por nivel de corte.	40
Tabla 9: Valores promedio de contracciones totales por nivel de corte.....	40
Tabla 10: Valores promedios de contracciones parciales por nivel	40
Tabla 11: Coeficiente de variación de las principales propiedades físicas	44
Tabla 12: Significancia entre árboles y niveles	44
Tabla 13: Coeficientes de correlación de las propiedades físicas y características anatómicas	48
Tabla 14: Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones de regresión.	48
Tabla 15: Comparación entre árboles de acuerdo a estratos para algunas dimensiones anatómicas, densidad básica y contracción volumétrica.....	51
Tabla 16: Comparación con especies de densidad similar	53

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Distribución gráfica para la obtención de muestras según niveles	18
Figura 2: Mapa de ubicación de parcelas	22
Figura 3: Rodaja anatómica	27
Figura 4: Madera en corte tangencial y radial	28
Figura 5: Madera en corte transversal	28
Figura 6: Sección transversal del <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	30
Figura 7: Sección transversal de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	30
Figura 8: Sección radial de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	31
Figura 9: Sección radial de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	31
Figura 10: Sección tangencial de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	32
Figura 11: Sección tangencial de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	32
Figura 12: Variación de la longitud de traqueidas (μm) por nivel.....	35
Figura 13: Variación del diámetro de lumen por nivel.	36
Figura 14: Variación del espesor de pared (μm) por nivel	36
Figura 15: Variación de la longitud de traqueidas (μm) por árbol y nivel	37
Figura 16: Variación del diámetro de lumen (μm) por árbol y nivel.....	37
Figura 17: Variación del espesor de pared (μm) por árbol y nivel	38
Figura 18: Variación de las densidades por nivel	43
Figura 19: Variación de las contracciones totales por nivel	43
Figura 20: Variación de la densidad básica por árbol y nivel.....	43
Figura 21: Relación entre la densidad básica y el espesor de pared celular.....	49
Figura 22: Relación entre la densidad básica y diámetro de traqueidas.....	49
Figura 23: Relación en la longitud de traqueidas y la densidad básica por árbol y nivel	50
Figura 24: Relación entre el espesor de pared y la densidad básica por árbol y nivel.....	50

Índice de anexos

	Página
Anexo Constancia de identificación de especie.....	65
Anexo 2 Características de los árboles seleccionados.....	66
Anexo 3 Puntuaciones en el campo de entrecruzamiento	67
Anexo 4 Clasificación de las propiedades físicas según Aróstegui (1982)	68
Anexo 5 Clasificación de los coeficientes de variación según Rubio (2002).....	69
Anexo 6 Clasificación de los coeficientes de correlación según Calzada (1982)	70
Anexo 7 Valores promedio de las características anatómicas por árbol.....	71
Anexo 8 Prueba de Tukey en las características anatómicas	72
Anexo 9 Valores promedios de las propiedades físicas de contenido de humedad y densidad por árbol.	73
Anexo 10 Valores promedio de contracciones totales por árbol y nivel.....	74
Anexo 11 Valores promedios de contracciones parciales por árbol y nivel	75
anexo 12 Contracción volumétrica parcial real y teórico.	76
Anexo 13 Prueba T Student para la contracción volumétrica parcial.	77
Anexo 14 Prueba de Tukey en las propiedades físicas.....	78
Anexo 15 Coeficientes de correlación para las características anatómicas y propiedades físicas.	79

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia mundial en la industria forestal está orientada a la utilización de madera procedente de plantaciones forestales como consecuencia de la escasez de especies comerciales de grandes diámetros procedentes de los bosques naturales, respaldándose por razones ambientales, aprovechamiento de tierras deforestadas, mayor productividad, mejores incentivos para las inversiones privadas, mejora en los conocimientos tecnológicos, entre otros.

El área de distribución natural de la especie Ulcumano *Retrophyllum Rospiglosii* (Pilg.) C. N. Page, incluye los bosques húmedos de los Andes desde Venezuela hasta Perú. En la selva central del Perú se ha venido estableciendo plantaciones con especies exóticas como pino y eucalipto, del mismo modo han utilizado a especies nativas como el ulcumano asociado con café. Actualmente existen plantaciones de esta especie en Colombia, donde es muy apreciado por su madera, en Perú se encuentran algunas plantaciones en el departamento de Pasco.

El conocimiento de la anatomía de la madera y propiedades físicas es importante porque a partir de ella se puede comprender su comportamiento y de esta manera atribuirle una posible aptitud de uso conforme a sus características, es así que en el establecimiento de toda plantación como es el caso del ulcumano es necesario la realización del presente estudio para contribuir al estudio tecnológico de la especie.

El presente estudio tiene como objetivos analizar las características anatómicas y su variación dentro y entre árboles en tres niveles a lo largo del eje longitudinal, determinar las propiedades físicas de: densidad, peso específico y contracciones totales (radial, tangencial, longitudinal) y determinar la relación entre las características anatómicas y las propiedades físicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

Reynel *et al.* (2006) y TROPICOS (2017) mencionan la siguiente clasificación y descripción:

Familia botánica : Podocarpaceas

Nombre científico : *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C. N. Page

Nombres comunes : “Ulcumano”, “Romerillo macho”

Sinónimos botánicos : *Podocarpus rospigliosii* (Pilger), *Decussocarpus rospigliosii* (Pilger) Laubenfels, *Nageia rospigliosii* (Pilger) Laubenfels.

Árbol grande y dominante, de 50-180 cm de diámetro y 30-45 m de altura, con fuste recto y cilíndrico, muy regular, sin aletas, la ramificación en el tercer tercio, la copa con tendencia aparasolada. Corteza externa agrietada color castaño, con ritidoma leñoso, quebradizo, que se desprende en placas rectangulares o irregulares. Corteza interna fibrosa, de color blanquecino. Ramitas terminales con sección circular o poligonal, longitudinalmente estriadas entre las inserciones de las hojas, glabras. Hojas simples, sésiles, insertadas en espiral, pero arregladas en dos hileras y con los peciolo torcidos en dos direcciones y sobre cada lado de la ramita, una hilera de hojas dispuestas por el haz y la otra por el envés; láminas lanceoladas a oblongo-lanceoladas de 10-12 mm de longitud por 3-5 mm de ancho, el ápice agudo, la base aguda a obtusa, el margen entero, el nervio principal notorio, los secundarios inconspicuos, las hojas coriáceas, glabras. Inflorescencias: la especie es dioica; estróbilos solitarios o agrupados en brotes cortos en las ramitas. Flores diminutas, unisexuales, las masculinas de 1 mm de longitud conformadas por una escama que alberga un estambre con dos sacos de polen, las flores femeninas conformadas por una escama que aloja un solo carpelo libre, ovoide, de 5-6 mm de longitud y 2-3 mm de ancho, el rudimento seminal único. Frutos conos drupáceos, carnosos, ovoides a subglobosos y apiculados.

2. HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN.

Reynel *et al.* (2006) sostiene que el *Retrophyllum rospigliosii* es una especie presente en el bosque maduro y se distribuye en la ecorregión de Ceja de Selva, en bosques montanos nublados o húmedos, entre 1500-4000 msnm; se le reporta en los departamentos de Cajamarca, Pasco y Junín. Mientras que Amaya (1985) señala que el área de distribución natural de las podocarpáceas es bastante extensa y crece en los bosques húmedos de los Andes, en una faja longitudinal comprendido entre 1700 y 2600 msnm, con temperaturas anuales de 10° a 13°C y una precipitación de 2000 mm al año. Arostegui *et al.* (1973) señala que esta especie se desarrolla en las formaciones de bosque húmedo y bosque muy húmedo; en los pisos altitudinales montano bajo y montano.

Spier, citado por Amaya (1985) manifiesta que la distribución geográfica es en bosques de neblina, desde Venezuela hasta Perú, en sitios ecológicos superiores, sobre suelos ricos en nutrientes, bien drenados.

3. DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.

3.1. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS.

Acevedo y Kikata (1994), indican que en condición seca al aire no hay diferencia entre albura y duramen, de color amarillo. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas claras de forma regular. Grano recto, textura fina y brillo medio. Veteado, arcos superpuestos y bandas paralelas.

3.2. CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS.

Acevedo y Kikata (1994), señalan que posee parénquima difuso con inclusiones resinosas. Radios homogéneos, uniseriados de células parenquimáticas radiales, no estratificadas. Altura entre 83 y 304 μm . Traqueidas, su diámetro tangencial varía de 46 a 58 μm , espesor de la pared celular 3,7 μm . y con presencia de puntuaciones areoladas con abertura lenticular inclusa. Puntuaciones en el campo de entrecruzamiento del tipo taxodioide, por su parte Vásquez (2010) reportó puntuaciones del tipo cupresoide.

Vásquez (2010) reporta las características microscópicas de la madera de la especie *Retrophyllum rospigliosii* proveniente de una plantación de 8 años de edad, establecida con semillas de dos procedencias diferentes en el departamento de Cauca a 1905 msnm, zona de vida bosque húmedo premontano, precipitación promedio anual de 1365 mm y temperatura media anual de 19,1°C. Las características encontradas se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Características anatómicas (μm) de dos procedencias distintas

<i>Medición anatómica</i>	<i>Mesitas del Colegio</i>	<i>Jericó</i>
Longitud de traqueidas	2370	2310
Diámetro de traqueidas	32,21	36,46
Diámetro de lumen	28,20	28,19
Espesor de pared	4,01	4,14

FUENTE: Vásquez (2010)

3.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ESPECIE

En la Tabla 2 se presentan los resultados con las propiedades físicas para *Retrophyllum rospigliosii* según Aróstegui y Sato (1970b):

Tabla 2: Propiedades físicas de la madera de *Retrophyllum rospigliosii* proveniente de bosque natural

<i>Propiedades Físicas</i>	<i>Mérida, Venezuela</i>	<i>UNALM, Perú</i>
1. Contracciones totales (%)		
1.1. Radial (R)	4,40	3,60
1.2. Tangencial (T)	7,30	7,30
1.3. Relación (T/R)	1,65	2,00
2. Densidad		
2.1. Densidad anhidra	0,45	0,43
2.2. Densidad básica	0,40	0,41

FUENTE: Arostegui y Sato (1970b)

3.4. USOS DE LA MADERA.

Aróstegui y Sato (1970a), mencionan que la madera de esta especie es muy apreciada para construcciones, carpintería en general, mueblería, entre otros. Además la madera es utilizada para pulpa y papel, muebles, revestimientos, chapas decorativas, ebanistería y construcción (JUNAC, 1981).

4. PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS.

Panshin y De Zeeuw (1980) indican que básicamente las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes en su organización estructural. Estos pueden ser resumidos en cinco categorías:

- La cantidad de sustancia presente en la pared celular en un volumen de madera determinada.
- La cantidad de agua presente en la pared celular.
- La proporción de la composición de los componentes químicos primarios de la pared celular y la cantidad, así como la naturaleza de las sustancias extrañas presentes.
- El arreglo y orientación de los materiales de la pared de la célula y en los diferentes tejidos.
- El tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que conforman el tejido leñoso.

El primero de estos factores se mide a partir del peso específico de la madera y provee uno de los índices más útiles para predecir el comportamiento físico de la madera. El segundo factor afecta intensamente el comportamiento físico de la madera en general, no sólo debido a que la adición de agua en las paredes celulares cambia su densidad y dimensiones sino también por los efectos en la plasticidad y la transferencia de energía dentro de la pieza de madera.

El tercero es responsable de las propiedades especiales de algunas maderas, así como de las desviaciones o variabilidades que presentan en su comportamiento cuantitativo. Mientras los dos últimos son causas de las grandes diferencias encontradas en las respuestas físicas de la madera con respecto a la dirección del grano.

4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD.

La madera es un material higroscópico; es decir, tiene afinidad por el agua en forma líquida y gaseosa. La cantidad de agua presente en una pieza de madera se conoce con el nombre de contenido de humedad y este varía con los cambios en las condiciones atmosféricas que rodean a la madera. Además es sin duda, la propiedad que más influencia tiene sobre las demás propiedades (Arroyo, 1983).

4.2. DENSIDAD BÁSICA.

Ananías, citado por Díaz *et al.* (s.f.) describe que la densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, debe considerarse al referirse a la densidad de la madera el volumen interno de espacios vacíos existentes. Además Herrera (1987), sostiene que la presencia de extractivos puede dar una densidad ficticia y confundir las relaciones pertinentes.

Rall (2006) considera que la densidad básica es la propiedad que mejor expresa la calidad de la madera por su fácil determinación y por presentar correlación con otras características de la madera. Delmastro *et al.* citado por Figueroa (2007) sostiene que esta propiedad se emplea normalmente como criterio de evaluación, permitiendo predecir las posibilidades de uso, la calidad de los productos que se obtendrán, el rendimiento de la materia prima y los requerimientos técnicos en la producción.

León (2010) sostiene que en el caso de maderas de coníferas, las características de las traqueidas definen el valor promedio y el patrón de variación de la densidad/peso específico.

El grosor de las paredes de las traqueidas va a ser el principal elemento responsable de esta propiedad física en las coníferas; existiendo una relación directa entre incremento de grosor de paredes y peso específico.

Vásquez (2010) con *Retrophyllum rospigliosii* encontró valores de densidad básica media de 0,36 g/cm³ y 0,37 g/cm³ para dos procedencias distintas, valores bajos que se justifica debido a la corta edad de los árboles (8 años), con alto porcentaje de madera juvenil interna. Pereyra y Gelid (2002) sostienen que la variación de la densidad básica con la edad, está ligada al porcentaje de madera juvenil y adulta, encontrando valores más altos en árboles de mayor edad.

4.3. CONTRACCIÓN.

Es la disminución o pérdida de volumen de la madera, bajo el punto de saturación de las fibras y se expresa como porcentaje de la dimensión de la madera en estado verde. Arroyo (1983), precisa que los cambios dimensionales que ocurren en la madera también se deben a la cantidad de sustancia de la pared celular; mientras mayor es la cantidad de material presente, mayores serán los cambios dimensionales posibles por variaciones en el contenido de humedad.

Los cambios dimensionales de la madera involucran principalmente la contracción (e hinchamiento) que se produce entre diferentes estados de su saturación en las direcciones tangencial y radial. La magnitud de estos cambios caracteriza el comportamiento de una madera frente a los cambios de humedad y en especial frente al secado (Igartúa *et al.*, 2009).

Jost (2006) con *Aracauria angustifolia*, encontró una relación directa entre la densidad básica y la contracción volumétrica, considerando que a mayor proporción de pared celular (mayor densidad), mayor será el efecto del agua higroscópica (contracción). Con respecto a la contracción longitudinal encontró un coeficiente de variación muy alto, que puede estar influenciado por la probable presencia de madera juvenil y madera de compresión.

León y Espinoza (2001) sostienen que si se conoce la relación que existe entre el peso específico y los cambios dimensionales que se producen en la madera como consecuencia de variaciones en el contenido de humedad del medio ambiente, se puede establecer la relación entre estructura anatómica y cambios dimensionales, tomando como base los parámetros anatómicos que influyen sobre el peso específico.

5. VARIABILIDAD DE LA MADERA.

Panshin y De Zeeuw (1980) indican que la madera es un producto orgánico natural, muy complejo y variable en sus características y propiedades, varía de especie a especie, entre árboles de la misma especie, y dentro de árboles individuales. Esta variabilidad es importante si se parte del hecho que los usos para cada tipo de madera están relacionados a algunas características como, porcentaje de tipos células y sus dimensiones, estructura de la pared celular, o proporción de celulosa-lignina. Más aún la adaptabilidad o calidad de la madera para un uso particular está determinada por la variabilidad de una o más de estas características que afectan su estructura y por tanto sus propiedades físicas.

La madera de un árbol presenta una amplia variación de sus características, que cambian individualmente de acuerdo con el género, la especie, la edad, la procedencia, y las condiciones de crecimiento, entre otras. Por esto, existe la necesidad de categorizarla, ya que la dimensión y disposición de sus elementos anatómicos tienen una gran influencia en sus propiedades (Burdon *et al.*, citados por Vásquez 2010). Wilson y White, citados por León y Espinoza (2001) sostiene que el rango de variación de los radios es referido a distintas especies; aunque en una misma especie se pueden presentar como la consecuencia de la edad y tasa de crecimiento del árbol.

La variabilidad en las características de la madera de una misma especie puede ocurrir de un árbol a otro, en la madera de diferentes partes dentro de un mismo árbol y aún dentro de una misma pieza de madera. Estas variaciones en las propiedades de la madera son en gran parte el resultado de los patrones de crecimiento de los árboles, así como también de las influencias ambientales que afectan ese crecimiento, tales como clima, suelo, humedad y competencia; es indudable que los factores genéticos, hasta el presente mayoritariamente desconocidos, también juegan papel importante (Arroyo, 1983).

El mismo autor agrega que entre los factores indicativos de la variabilidad en las características de la madera, la apariencia, velocidad de crecimiento, densidad y orientación del grano, son los más fácilmente reconocibles.

Frecuentemente la variabilidad es mayor dentro de un mismo árbol que entre los individuos de la misma especie que crecen en condiciones similares, y se presenta entre los anillos de crecimiento y en las direcciones radial y longitudinal (Vásquez 2010). Panshin y de Zeeuw (1980) señalan, que la variación dentro de un mismo árbol puede deberse a variaciones anatómicas y químicas de los elementos fibrosos, incidiendo luego en la variación de las propiedades físicas y mecánicas. Estas variaciones se pueden dar en dirección longitudinal, es decir a nivel de alturas y en dirección transversal, es decir por cercanía o lejanía de la médula. Para estos mismos autores la variabilidad está fundamentalmente relacionada a los cambios resultantes de envejecimiento del cambium y las modificaciones impuestas en la actividad cambial por las condiciones ambientales.

5.1. ANTECEDENTES DE VARIACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.

Las características de las células del xilema, como las fibras y vasos en latifoliadas, o las traqueidas en coníferas, varían considerablemente, no sólo entre especies y árboles, sino también con la altura y la distancia radial en un mismo individuo. Independientemente de la altura en el tronco, las células más cortas se encuentran, usualmente, adyacentes a la médula (Honjo *et al.*, citado por Vásquez 2010). Panshin y De Zeeuw (1980) mencionan que axialmente las dimensiones de las traqueidas aumentan en la base del tronco y disminuyen hacia la punta.

El patrón de variación de la longitud de las células con la altura en el árbol fue establecido por Sanio en 1872 y desde entonces ha sido confirmado por numerosas evidencias en coníferas. Amaral (2014) reporta en su estudio de *Pinus elliottii* var. *Elliottii* que la longitud

de las traqueidas disminuye de la base a la copa, y en el caso del diámetro de traqueidas los mayores valores se encuentran en la parte media del árbol. Por su parte Santos (2004) estudió el *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* y encontró el mismo patrón de variación según la altura, teniendo traqueidas más larga en la base y disminuyen hacia el ápice del árbol.

Vásquez (2010) encontró para la madera de dos procedencias de *Retrophyllum rospigliosii* de ocho años, que todas las dimensiones de las traqueidas presentaron incremento en dirección médula-corteza, variación que muestra, de manera general, la formación de dos tipos de madera; la primera desde la médula hasta el octavo anillo de crecimiento, con aumentos progresivos y asociada con madera juvenil o juvenil interna. Cerca de la corteza, la madera presentó variaciones más graduales, lo que la asocia con madera de transición hacia la madera madura o juvenil externa. Así mismo se presentaron varias tendencias de variación axial: aumento de base a copa con una ocasional disminución entre el 50 y el 75 por ciento de la altura, valores constantes o disminución hasta el 25 por ciento y aumento posterior que permanece constante o disminuye de nuevo hacia la copa, aumento hasta la altura del pecho (AP) o el 25 por ciento y disminución posterior hasta el 75 por ciento final, o disminución hasta el 25 o 50 por ciento de la altura y aumento hasta el 75 por ciento.

Panshin y De Zeeuw (1980) mencionan que el espesor de la pared celular muestra incrementos sucesivos con la edad en muchas especies de madera blanda, encontrándose un mayor incremento en la madera tardía; sin embargo puede no haber ningún incremento o disminución en el grosor de la pared celular para el caso de madera temprana. Bravo, citado por Silva (2005) encontró para *Pinus radiata* D. Don., que el diámetro de traqueidas varía significativamente con la edad, sucediendo lo mismo para el diámetro de lumen.

5.2. ANTECEDENTES DE VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

Las tendencias de variación del peso específico a lo largo del tronco para las diferentes especies ocurre de acuerdo a los patrones siguientes: 1) El peso específico disminuye uniformemente desde la base hasta la copa. 2) El peso específico disminuye en la parte inferior del tronco y aumenta en la parte superior. 3) El peso específico aumenta desde la base hasta la copa en forma irregular. La disminución desde la base hasta el ápice es la tendencia más común de variación entre las especies de coníferas (Arroyo, 1983).

Krahmer, citado por Arroyo (1983) para *Tsuga heterophylla*, encontró que la disminución general de peso específico desde la base hacia la copa está asociada con las velocidades de

crecimiento de 10 anillos o más por pulgada, pero que las mayores velocidades de crecimiento (menos de 10 anillos por pulgada) invierten la tendencia, de tal manera que el peso específico aumenta desde la base la copa. De estos trabajos, el autor deduce que las variaciones de peso específico en el tallo son producidas por factores interrelacionados que son modificados por las condiciones de crecimiento.

Bamber y Burley, citados por Torres (2009) indican que la densidad decrece con la altura; y que el contenido de humedad en la albura se incrementa con la altura. Jost (2006) al estudiar *Araucaria angustifolia* encontró que la densidad básica, anhidra y las contracciones radiales disminuyen con la altura. Hillig *et al.* (2011) encontró el mismo patrón de variación de la densidad básica para la especie ya mencionada.

León (2010) señala que en Venezuela especies de coníferas como *Retrophyllum rospigliossii* (Podocarpaceae) no desarrollan anillos de crecimiento y eso es indicativo de una posible uniformidad del peso específico a través de toda la sección transversal.

Vásquez (2010) encontró que la variación axial de la densidad básica y la densidad aparente de la madera de ulcumano, mostró una alta variabilidad, con mayores valores en la base de los árboles que disminuyen hasta la altura del pecho y en algunos casos hasta el 25 por ciento de altura. Posteriormente se observa un aumento de la densidad hasta el 25 o 50 por ciento de la altura total, y disminución final hacia el 75 por ciento de la misma.

6. INTERRELACIÓN ENTRE LA ANATOMÍA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA.

Leclercq citado por Silva (2005) menciona para la madera de *Fagus grandifolia*, que independientemente de la calidad de sitio y tratamiento silvicultural, las propiedades de la madera están condicionadas por la estructura anatómica y particularmente por la dimensión y proporción de tejidos fibrosos.

Santos (2004) para *Pinus caribaea* encontró una densidad básica promedio de 0,49 g/cm³, observando variación entre árboles de la misma especie y dentro del árbol. En relación a la altura se observa una disminución de la base hacia el ápice. Para las contracciones, encontró que la estabilidad tiende a disminuir de la base hacia la copa. Además encontró que la relación entre la densidad y la contracción es de carácter positiva tanto en su distribución altitudinal y diamétrica, además se observó que a mayor longitud de traqueidas la densidad es mayor.

Rathgeber *et al.* citados por León (2010), estudiando *Pseudotsuga menziesii*, encontraron una buena correlación entre la densidad de la madera y la proporción de material de la pared celular, aunque esta relación no fue perfectamente lineal y las principales características anatómicas responsables del incremento de la densidad fueron el engrosamiento de las paredes de las traqueidas y la disminución de su diámetro radial.

Dumail y Castera, citados por Silva (2005) en su estudio de *Pinus pinaster*, encontraron que la relación entre contracción radial y densidad básica era ligeramente mejor que la relación contracción tangencial y densidad básica, y que su explicación puede encontrarse en la mayor influencia del porcentaje de madera tardía en la contracción radial, considerando la variabilidad de las cantidades relativas de madera temprana y tardía como parte de la variabilidad de la densidad básica.

Hillig *et al.* (2011) con *Araucaria angustifolia* encontró que la densidad básica disminuye con la altura. Además la madera obtenida en la parte inferior del fuste resultó más inestable dimensionalmente. Las ecuaciones lineales demostraron que más del 40 por ciento de la contracción fue explicada por la variación de la densidad básica.

Chambergo (1984) señala que entre las dimensiones de los elementos anatómicos y las propiedades físico-mecánicas existe asociación lineal, ya sea directa e inversa; pero el

grado en que influyen las dimensiones de los elementos anatómicos sobre las propiedades físico -mecánicas es muy bajo. Además recomienda que las mediciones de los elementos anatómicos deben efectuarse de la misma probeta ensayada en propiedades físico mecánicas, con la finalidad de eliminar la variabilidad que existe dentro del árbol.

7. MADERA JUVENIL Y MADERA TARDÍA.

Larson et. al., citado por Jost (2006) define a la madera juvenil como la parte de la madera que se extiende fuera de la médula, donde las características de la madera sufren cambios rápidos y progresivos. Diaz-Vaz (1981) y Pires de Moura *et al.* (2012) señalan que la madera juvenil presenta en coníferas menor densidad básica, paredes más delgadas, traqueidas más cortas con mayores ángulos de fibrillas, mayor contracción longitudinal, si se compara con madera madura, más alejada del centro del árbol.

La madera juvenil presenta células más cortas que la madera madura, tiene relativamente pocas células de madera tardía y una alta proporción de células tienen capas con paredes delgadas, siendo el resultado de esto una baja densidad, baja gravedad específica y una correspondiente menor resistencia. Además parece haber una tendencia al grano en espiral y un ángulo microfibrilar mayor en la capa S2 de la pared secundaria, típico en la madera de reacción que comúnmente se desarrolla en la madera juvenil ocasionando un alto grado de contracción longitudinal y por ende una disminución en la contracción transversal. En las maderas duras los vasos de la madera juvenil son a menudo más pequeños y están distribuidos de manera diferente (Haygreen y Bowyer, 1982).

8. AGROFORESTERÍA.

Lundgren, citado por Arévalo (s.f.) menciona que los sistemas agroforestales (SAF) es un nombre colectivo para referirse a todos los sistemas y prácticas de uso de la tierra, donde árboles o arbustos perennes leñosos son deliberadamente sembrados en la misma unidad de manejo de la tierra con cultivos agrícolas y/o animales, tanto en mezcla espacial o en secuencia temporal; presentando interacciones ecológicas y económicas significativas entre los componentes leñosos y no leñosos. Jiménez y Muschler (1999) sostienen que la agroforestería tiene como objetivo principal la integración de árboles y otras especies perennes con cultivos y/o ganados para aumentar los rendimientos, mejorar la fertilidad del suelo, proporcionar una gama de productos útiles y mejorar el nivel de vida de los agricultores.

El café acumula lentamente las sustancias aromáticas a través de un proceso fisiológico que solo se logra en los sistemas agroforestales. Este tipo de sistema se considera simultaneo, ya que combina especies forestales en cultivos permanentes como sombra para los cultivos, de tal forma que mejora y protege el suelo, además de producir madera u otros servicios (La Torre 2012).

Brack (1984), señala que en la zona de Villa Rica los cafetales sólo pueden ser manejados bajo sombra. Esto porque los suelos no permiten la exposición directa al sol y las variedades son para sombra. La sombra permite el mantenimiento de la fertilidad de los suelos; en el manejo de la sombra se habla de dos tipo: 1) la sombra sobre el suelo, que debe ser producida por la misma plantación de café, es decir, que el café debe tener un distanciamiento adecuado. 2) la sombra sobre el cafetal, es producida por árboles que proporcionan un filtraje de luz máximo 40-50 por ciento.

El mismo autor sostiene que la función de los árboles de sombra no es simplemente filtrar la luz. La producción de biomasa, es decir, residuos orgánicos que nuevamente se incorporen al cafetal, es tal vez la función principal, pero no se le da el valor en este sentido.

Brack *et al.* (1985), reportan experiencias de la asociación de café, plátano, paca y ulcumano en un fundo en el distrito de Villa Rica. El mismo autor y Ramos (2011) mencionan que para la edad de 3 años, el ulcumano alcanza 5 metros de altura y presenta un crecimiento recto. En relación al distanciamiento adecuado de la especie estudiada, señala que 12 m x 12 m parece ser ideal para una futura sombra para el café. A los 7 años, la altura

promedio del ulcumano es de 11 m, a un distanciamiento de 10 m x 10 m. Estos árboles dan una sombra buena y no se observan efectos negativos sobre la plantación y producción del café. En la zona de Villa Rica, en altitudes superiores a 1400 m, se reponen ulcumano en los plantíos de café, con distanciamientos que varían desde 4 x 4 m para cafetales viejos y hasta 12 x 12 m en cafetales bien conducidos.

9. TRATAMIENTOS SILVICULTURALES.

Puede definirse la competencia como el efecto negativo que un organismo ejerce sobre otro debido al consumo o al control que realiza sobre el acceso a un determinado recurso (luz, agua o nutrientes) de disponibilidad limitada (Keddy, citado por Crecente *et al.* 2007)

Arroyo (1983) señala que los tratamientos silviculturales que han demostrado tener mayores efectos sobre algunas propiedades de la madera son la manipulación del espacio entre árboles (distancia de siembra y posteriores aclareos) y la estimulación mediante el suministro de nutrientes y agua. Así el tamaño de la copa y el espaciamiento entre árboles de coníferas ha demostrado ser muy importante para controlar la velocidad de crecimiento; mientras que la disponibilidad de agua disminuye en el porcentaje de madera tardía. McKimmy, citado por Vilcayauri (2009) añade que la fertilización tiene un variable efecto sobre la densidad de la madera indicando que la mayoría de investigadores coinciden en que hay una tendencia de la disminución de la densidad.

La aplicación de raleo en plantaciones forestales comerciales es una práctica frecuente. El raleo consiste La aplicación de raleo tiene efecto en la calidad de la madera, principalmente en su densidad debido a que la tasa de crecimiento de los árboles remanentes se incrementa, generando una mayor proporción de madera juvenil y por lo tanto, una menor densidad básica de madera (Leitch, citado por Muñoz *et al.*; 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. ZONA DE ESTUDIO.

La plantación se encuentra ubicada en el Fundo San Gerónimo, en el caserío Camino al Alba – provincia de Oxapampa, distrito de Villa Rica, departamento de Pasco. Se encuentra aproximadamente entre los paralelos 10°10' y 10°48' de latitud sur y los meridianos 75°10' y 75°26' de longitud oeste.

2. LUGAR DE EJECUCIÓN.

El presente estudio se realizó en los laboratorios de Anatomía y Propiedades Físico – Mecánicas de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.1. ESPECIE

La especie estudiada es Ulcumano, con nombre científico *Retrophyllum rospigliosii* proveniente de una plantación de 32 años ubicada en el distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa en el departamento de Pasco. La identificación dendrológica de la especie se realizó en el Herbario de la Universidad Nacional Agraria La Molina, conforme en el Anexo 1.

3.2. MUESTRAS DE MADERA.

Para la recolección de muestras de madera sólo se consideraron árboles de fuste recto y sin daños patológicos. De cada árbol se obtuvieron 3 trozas de 1 m para la preparación de probetas físicas, una troza por debajo del DAP de 0,5 m de largo y una rodaja de 0,15 m de espesor tomada de la parte basal del árbol. En la Figura 1 se muestra la distribución en el árbol para la obtención de probetas:

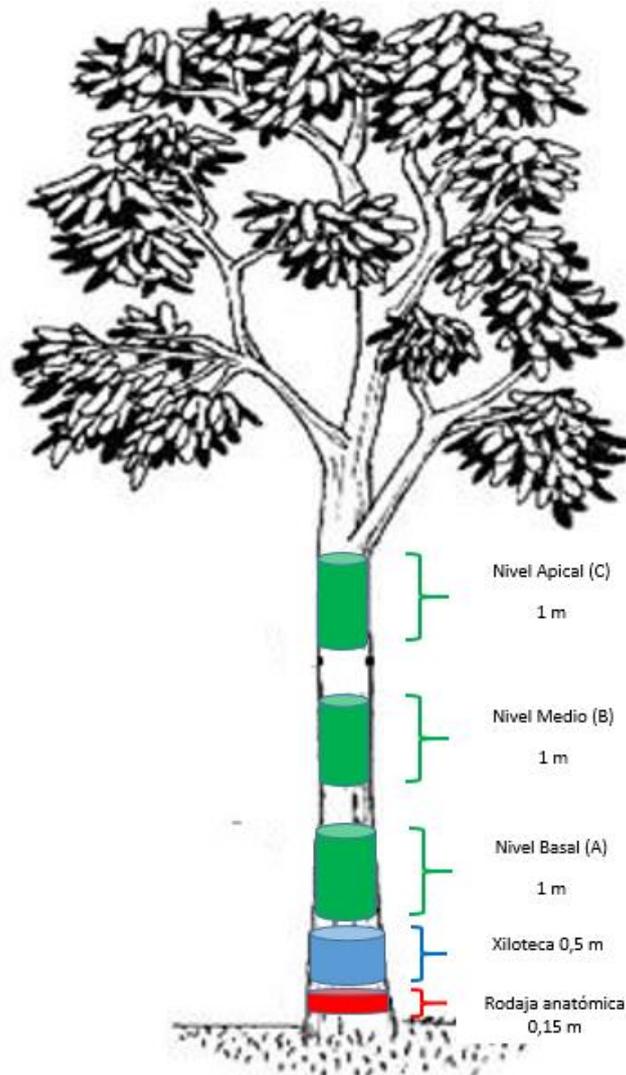


Figura 1: Distribución gráfica para la obtención de muestras según niveles

FUENTE: Elaboración propia.

3.3. EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE PROBETAS.

- Sierra de cinta
- Sierra de disco
- Sierra radial
- Garlopa
- Cepilladora

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

3.4.1. MATERIALES.

- Lupa de 10x
- Matraces erlenmeyers
- Vaso de precipitación de 500 ml.
- Placas Petri
- Porta y cubre objetos de 18 x 18 mm y de 22 x 22 mm
- Pincel pelo de Martha N°5
- Cuchillas descartables para micrótopo Leica SMS modelo perfil bajo – 819
- Cuchilla de mano
- Bisturí
- Pinza
- Solución de alcohol de 30°, 60° y 90°
- Solución de glicerina/alcohol 50/50.
- Solución de ácido nítrico al 33 por ciento.
- Safranina al 1 por ciento
- Xilol
- Merckoglass

3.4.2. EQUIPOS DE LABORATORIO.

- Micrótopo de deslizamiento horizontal marca Spencer.
- Microscopio binocular marca Leica con cámara ICC50 HD.
- Estereoscopio marca Olympus CO11 acoplada con cámara Canon Powershot S50.
- Proyector de láminas

- Plancha de calentamiento marca Thermo Scientific.
- Estufa eléctrica.
- Balanza de precisión con aproximación de $\pm 0,1$ g.
- Desecador de humedad, provisto de una sustancia Higroscópica.
- Micrómetros con precisión de $\pm 0,01$ mm.
- Vernier digital con precisión de $\pm 0,01$ mm.

3.4.3. MATERIALES DE OFICINA.

- Computadora y materiales de escritorio

4. METODOLOGÍA.

4.1. SELECCIÓN DE LAS ZONAS.

Se realizó una zonificación de la plantación existente al año 2015 y se dividió en 3 estratos, en base al tipo de vegetación existente (Figura 2). En la Tabla 3 se presenta la descripción de los estratos:

Tabla 3: Descripción de los estratos de la plantación.

<i>Estratos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Árboles extraídos por estrato</i>
Estrato 1	Ulcumano y sotobosque	1,2	3
Estrato 2	Ulcumano y café	0,8	1
Estrato 3	Ulcumano y especies nativas	1	1

FUENTE: Elaboración propia

Las características de la plantación son las siguientes:

- Ubicación: Departamento de Pasco, provincia de Oxapampa y distrito de Villa Rica.
- Área total de la plantación inicial: 6 hectáreas.
- Fecha de instalación: 1983
- Tratamientos silviculturales: raleo y poda a los 8 años.
- Distanciamiento: 4x4 m
- Altitud: 1762 msnm
- Pendiente: 40 -45 por ciento



Figura 2: Mapa de ubicación de parcelas

FUENTE: Elaboración propia

4.2. SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS.

Las muestras de madera para el estudio fueron colectadas y seleccionadas según lo especificado en la Norma Técnica Peruana 251.008 “Selección y colección de muestras” que recomienda trabajar con una seguridad estadística del 95 por ciento y un intervalo de confianza de ± 15 por ciento para lo cual deben tomarse como mínimo 5 árboles, de la clase diamétrica más abundante que contiene a los individuos con $dap \geq 25$ cm. Los datos de los arboles seleccionados pueden observarse en el Anexo 2.

La selección de los individuos se realizó de manera aleatoria dentro de cada estrato. Una vez ubicado, se tomó un rumbo y una distancia obtenidos al azar con ayuda de una tabla de números aleatorios, llegando de esta manera al individuo a seleccionar. De la misma manera se seleccionaron el resto de individuos.

4.3. PROCESAMIENTO DE TROZAS.

Para el estudio anatómico se extrajo una rodaja de 15 cm de largo para la visualización de los anillos de crecimiento y una troza de 0,5 m de largo, de la cual se obtuvieron las muestras de xiloteca, debidamente orientadas en cortes tangencial y radial.

A su vez se establecieron 3 niveles a diferentes alturas del árbol: A (basal), B (medio) y C (apical) para la obtención de trozas de 1 m de largo, con las cuales se prepararon las probetas para ensayos físicos.

4.4. ESTUDIO ANATÓMICO.

El estudio anatómico de la madera se realizó en base a la Norma de procedimientos en estudios de anatomía de la Madera, IBAMA (1991).

Las muestras de xiloteca de 2x10x15cm debidamente orientadas se emplearon para la descripción de las siguientes características: color, visibilidad de anillos de crecimiento, textura, veteado y grano.

4.5. MICROTECNIA DE LA MADERA.

4.5.1. PREPARACIÓN DE LÁMINAS HISTOLÓGICAS.

Previamente para cada árbol, se prepararon tres por nivel del árbol, debidamente orientados, los cuales se emplearon para la obtención de láminas histológicas para la descripción microscópica, se siguieron los siguientes pasos:

- Preparación de muestras: Se prepararon 3 cubos de madera de aproximadamente 1 x 1 x 1,5 cm perfectamente orientados en sus tres planos de corte.
- Ablandamiento de probetas: Los cubos se ablandaron en agua caliente a una temperatura de 200° C a más, cuyo tiempo de ablandamiento estuvo en función al corte a realizar.
- Corte de láminas: Se empleó el micrótopo de deslizamiento horizontal y se realizaron cortes a espesores de 20 a 25 µm en sus tres secciones, transversal, radial y tangencial; estos cortes fueron colocados en placas Petri conteniendo alcohol de 30°.
- Deshidratado: Se realizó la deshidratación con distintos grados de alcohol 30°, 60° y 96° con intervalo de 30 minutos entre cada grado, al término de los cuales se iba retirando para agregar otro de mayor grado.
- Coloración: Una vez terminado el proceso de deshidratado, se agregó de 3 a 5 gotas de safranina (colorante) hasta un coloreado uniforme por aproximadamente 20 minutos. Luego se lavaron las láminas varias veces con alcohol de 96° y finalmente se agregó xilol para fijar el colorante.
- Montaje: Previamente las láminas fueron recortadas con un bisturí, para luego ser colocadas en el portaobjetos en el siguiente orden: transversal, radial y tangencial, finalmente se agregó una gota de Merckoglass antes de colocar el cubreobjetos y cuyo secado fue instantáneo.

4.5.2. PREPARACIÓN DE LÁMINAS CON TEJIDO MACERADO.

Para este procedimiento se usaron pequeños pedazos de madera similares a palitos de fósforo para la obtención de traqueidas conforme a los procedimientos empleados por el laboratorio de Anatomía de la Madera de la UNALM, se siguieron los siguientes pasos:

- Maceración: Los palitos de madera se colocaron en un vaso pyrex, luego se agregó una solución de ácido nítrico al 33 por ciento en una cantidad suficiente hasta cubrirlos completamente, posteriormente se llevó a una temperatura de 80°C de la plataforma de la cocina eléctrica por un tiempo de 15 a 20 minutos.
- Lavado, coloración y montaje: Se lava con agua para eliminar el exceso de ácido, después se agregó alcohol de 96° y seis a ocho gotas de safranina. Posteriormente, parte del tejido macerado se colocó en una placa petri y agregó xilol para fijar el colorante.

Luego se realizó la separación y selección de traqueidas con ayuda de una aguja hipodérmica y un microscopio, las traqueidas escogidas fueron colocados en portaobjetos, agregándose una gota de Merckoglass y cubriendo con el cubreobjeto respectivo y cuyo secado fue instantáneo. Se prepararon dos portaobjetos por nivel, es decir 6 por árbol.

4.5.3. MEDICIÓN DE ELEMENTOS XILEMÁTICOS.

Se realizaron mediciones para cada elemento anatómico con ayuda del programa LAZ Leica Application. Para las mediciones se determinaron ancho y espesor de las traqueidas. Asimismo la longitud y ancho de los radios, número de radios por mm lineal y el número de células en ancho y alto de los radios. Las mediciones de la longitud de traqueidas se realizaron con la ayuda de un proyector de láminas, donde el valor obtenido en mm se multiplicó por el factor de conversión 13,16.

Se realizaron 50 mediciones de cada elemento anatómico por nivel, 150 por árbol.

4.5.4. REGISTRO DE IMÁGENES.

Se tomaron fotografías de la sección transversal de las rodajas de 0,15 m de cada árbol con la cámara digital Canon. Así mismo se tomaron macrofotografías de la sección transversal de la madera y microfotografías de la madera en sus tres cortes transversal, radial y tangencial, empleando el microscopio binocular MD 500 R Leica y el programa LAZ Leica Application.

4.6. MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

4.6.1. PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS.

Se prepararon probetas de 3 cm x 3 cm x 10 cm debidamente orientadas en sus 3 planos de corte. Por nivel se obtuvieron 12 probetas, es decir 36 por árbol.

4.6.2. NORMAS UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS.

Las normas utilizadas para los ensayos físicos son:

- NTP 251.010:2004. "Método para determinar el contenido de humedad".
- NTP 251.011:2004. "Método de determinación de la densidad".
- NTP 251.012:2004. "Método de determinación de la contracción".

Para el análisis de la variación de las características anatómicas y propiedades físicas se utilizó la clasificación de los coeficientes de variación de Rubio (2002) conforme el Anexo 5.

4.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los parámetros estadísticos de los elementos anatómicos se determinaron de acuerdo a la norma COPANT N° 30:012. Se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variabilidad para los diferentes elementos anatómicos.

En el presente estudio se utilizó el Diseño completamente al azar en Bloques (DCB) para determinar si existen diferencias significativas entre niveles (A = basal, B = medio, C = apical) y árboles (1, 2, 3, 4, 5).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS.

1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

En condición seca al aire no existe diferenciación entre albura y duramen; de color amarillo 10YR 8/6. Anillos de crecimiento ligeramente diferenciados por bandas claras (Figura 3). Olor no distintivo. Grano recto, textura fina y brillo medio. Veteado en arcos superpuestos causado por los anillos de crecimiento y bandas paralelas (Figura 4).

1.2. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS.

La madera presenta parénquima no visible con lupa de 10x. Los radios son visibles con lupa de 10x. Anillos de crecimiento no visibles a simple vista. Estas características pueden observarse en la Figura 5.



Figura 3: Rodaja anatómica



Figura 4: Madera en corte tangencial y radial

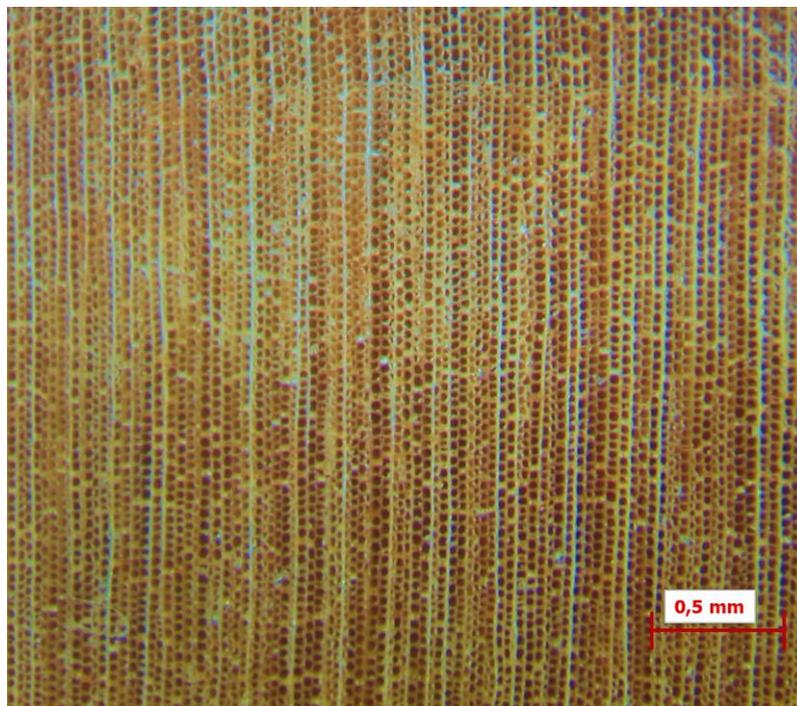


Figura 5: Madera en corte transversal

1.3. CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS.

- Anillos de crecimiento

Anillos de crecimiento indistintos.

- Traqueidas axiales

En sección transversal las traqueidas axiales son de forma cuadrangular a hexagonal. Punteaduras areoladas uniseriadas en sección radial. Longitud promedio de traqueidas de 4837 μm , clasificada como medianas según el IAWA (2004). Diámetro promedio de 44 μm . Espesor de la pared celular promedio de 4 μm , diámetro del lumen de 36,1 μm .

- Parénquima axial

Parénquima difuso con contenido de resina.

- Radios

Radios homogéneos constituidos por células parenquimáticas radiales, exclusivamente uniseriados, ancho de 11 μm clasificados como muy finos, altura promedio de 157 μm , clasificados como medianos según el IAWA (2004) y en promedio 8 de células en altura y 7 radios por mm lineal. Puntuaciones del tipo taxodiode en el campo de entrecruzamiento, con escasa presencia del tipo cupresoide (Anexo 3).

En la Tabla 4 se presentan los valores promedios de los elementos leñosos para la especie. Las traqueidas tienen 4837 μm de longitud de promedio clasificadas como traqueidas medianas según el IAWA (2004), mientras que Vásquez (2010) encontró para la misma especie en plantación de 8 años, longitudes de 2370 μm y 2310 μm clasificadas como cortas provenientes de dos localidades diferentes; cuya diferencia puede deberse a la edad ya que los árboles del presente trabajo provienen de una plantación de 32 años. El diámetro promedio de lumen de las traqueidas fue de 36,1 μm , valor mayor a los reportados por Vásquez (2010) que encontró 28,19 y 28,20 μm de diámetro de lumen. El promedio del espesor de pared es de 4,0 μm , este valor concuerda con unos de los obtenidos por Vásquez (2010) de 4,01 μm y 4,14 μm . Las puntuaciones del campo de cruzamiento son del tipo taxodiode y cupressoide, concuerdan con los reportados por Acevedo y Kikata (1994) y Vásquez (2010) respectivamente.

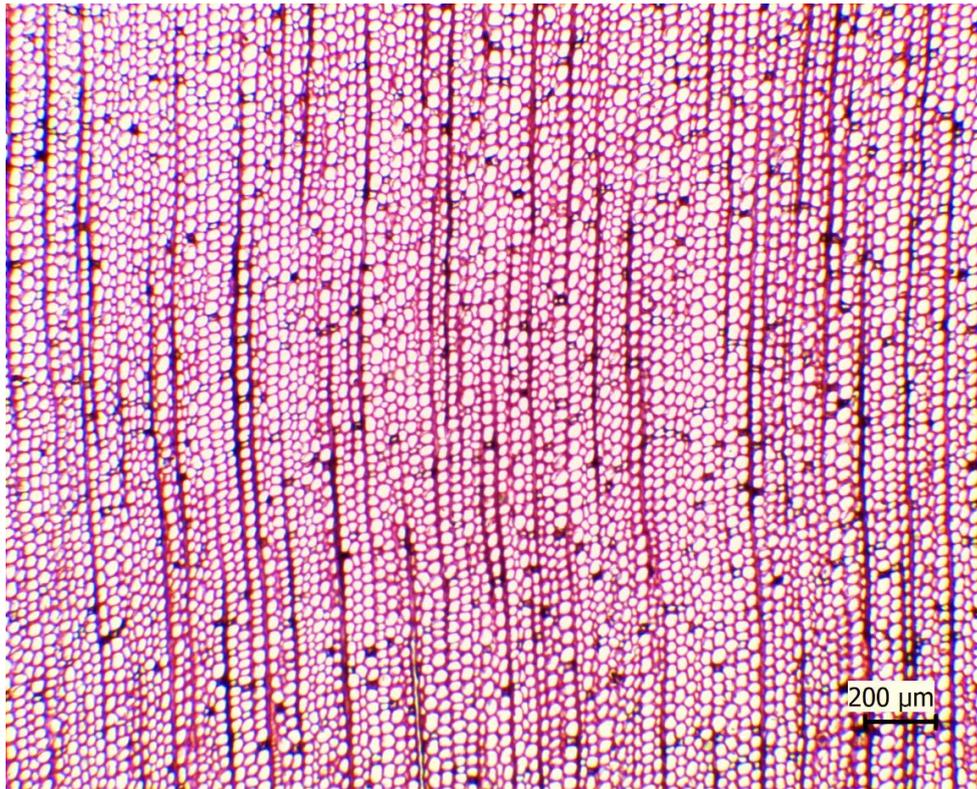


Figura 6: Sección transversal del *Retrophyllum rospigliosii*

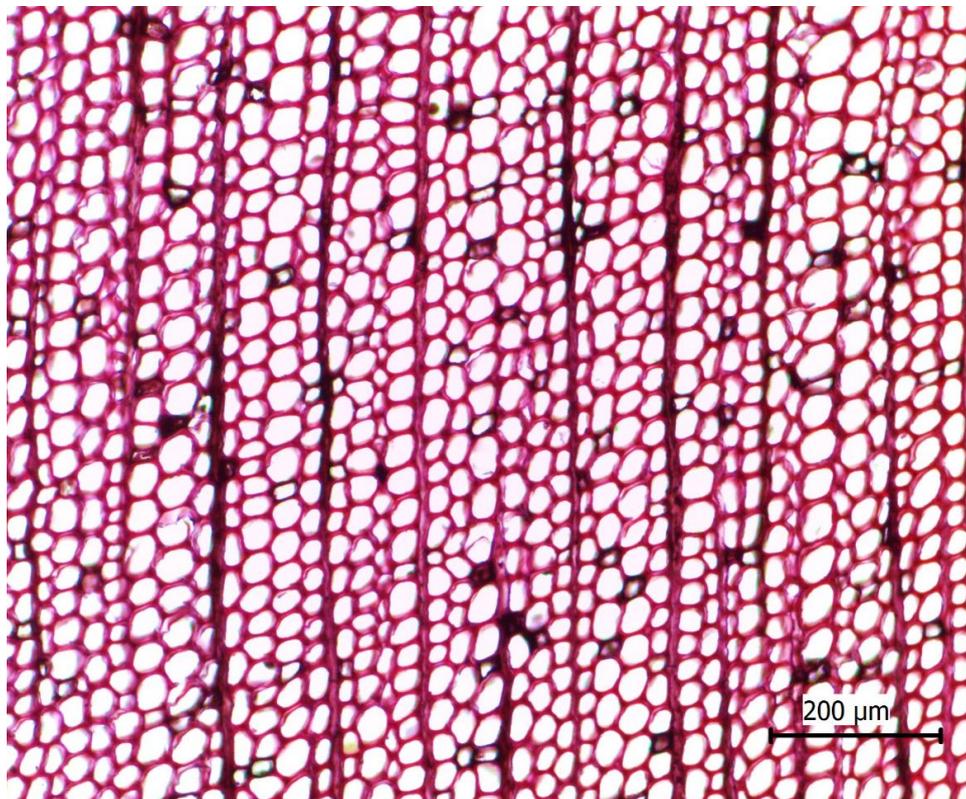


Figura 7: Sección transversal de *Retrophyllum rospigliosii*

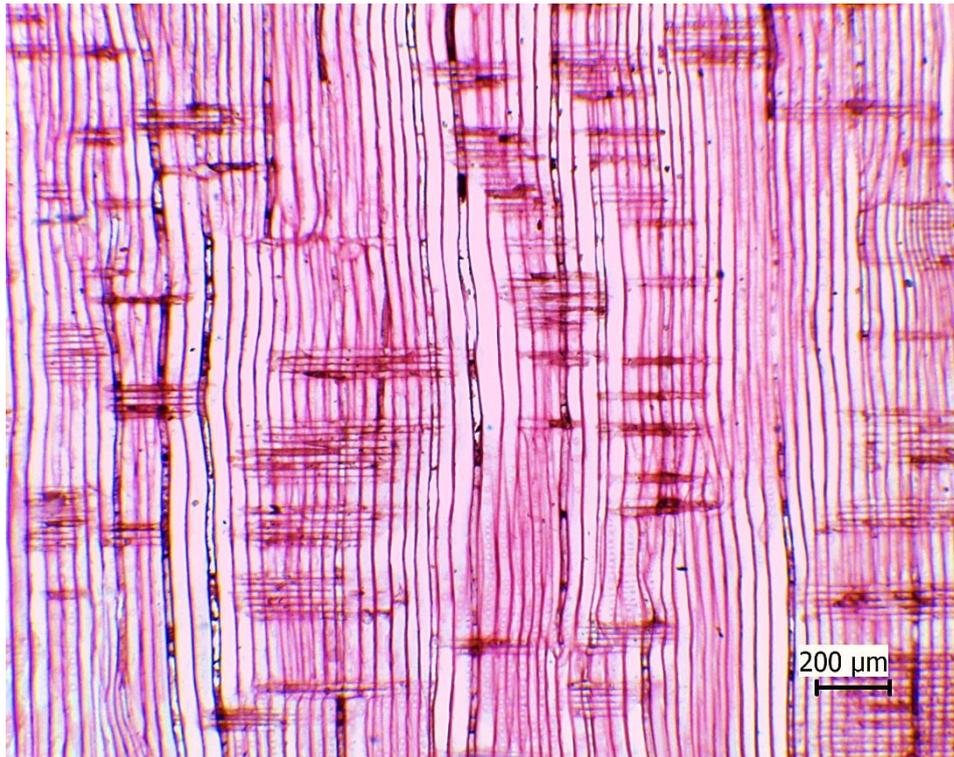


Figura 8: Sección radial de *Retrophyllum rospigliosii*

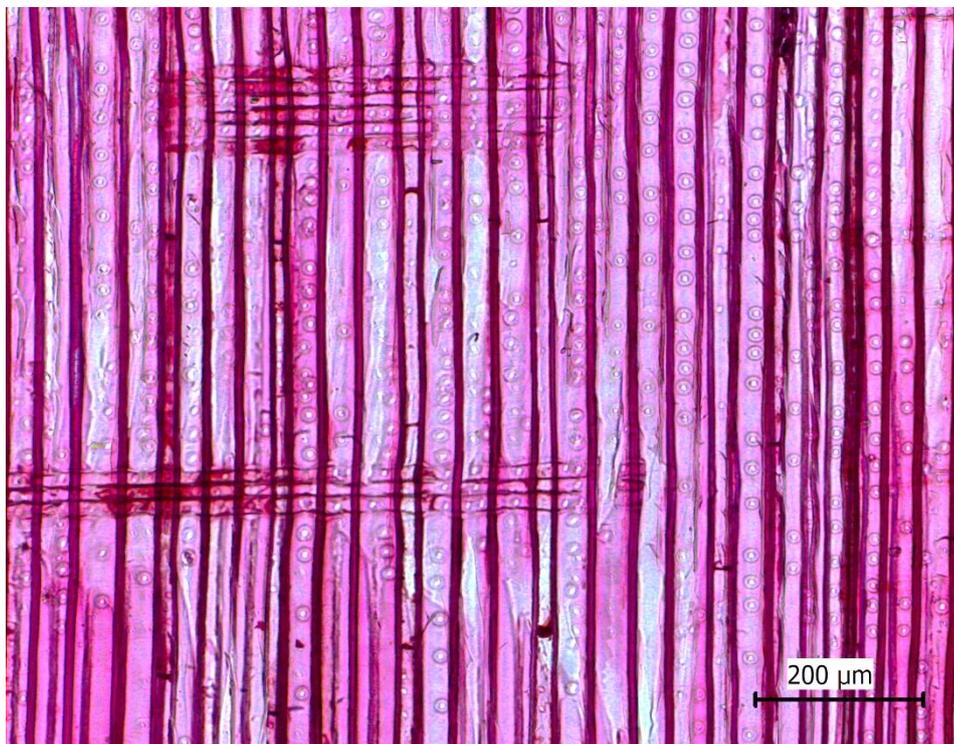


Figura 9: Sección radial de *Retrophyllum rospigliosii*

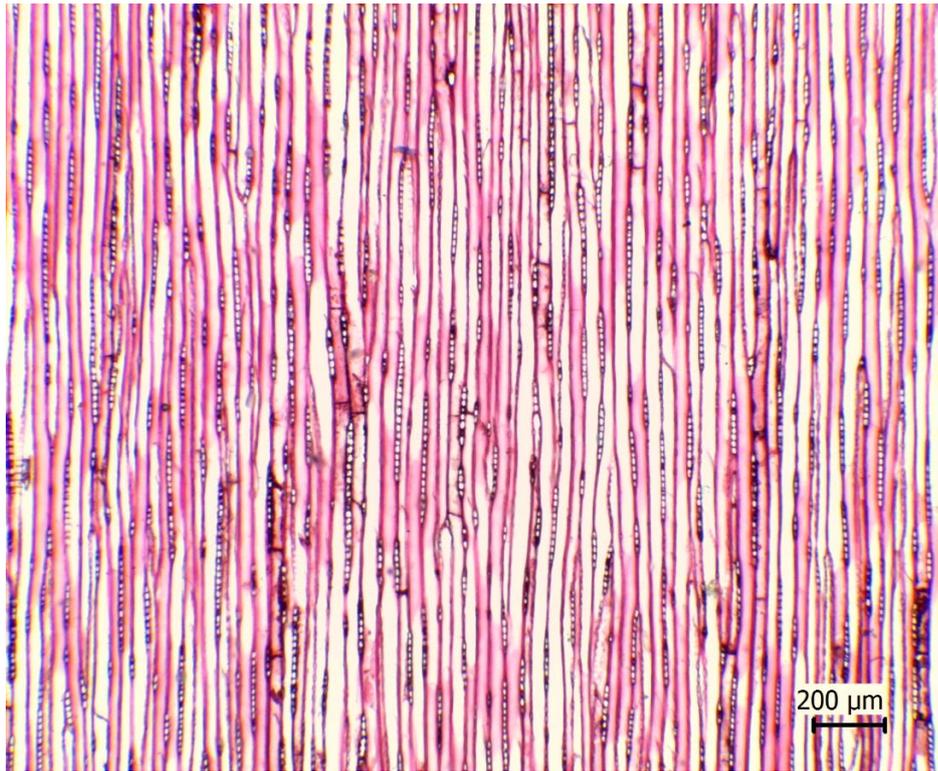


Figura 10: Sección tangencial de *Retrophyllum rospigliosii*

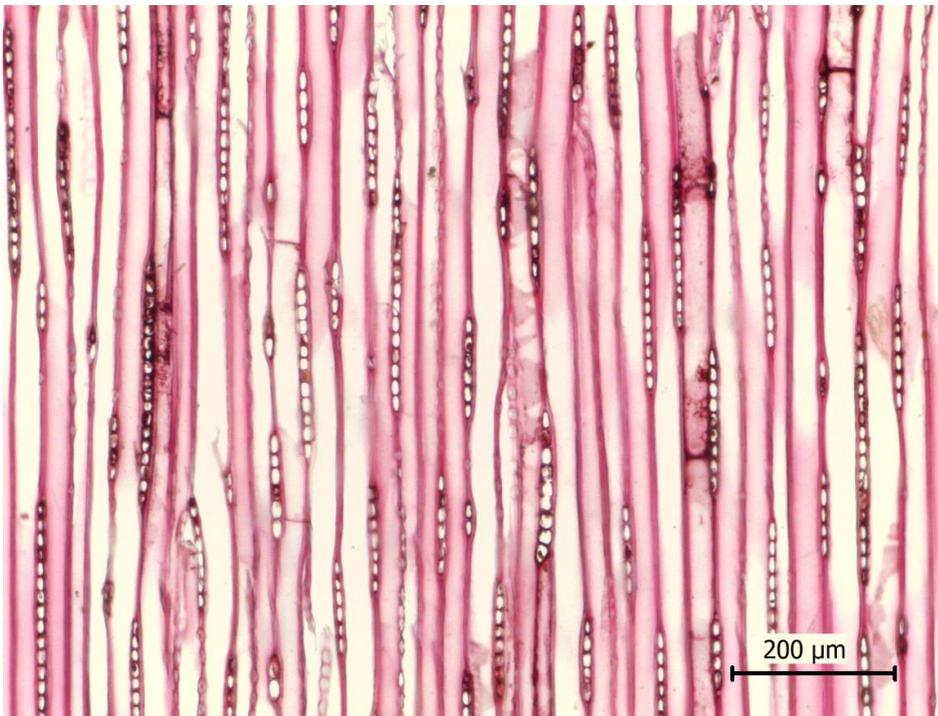


Figura 11: Sección tangencial de *Retrophyllum rospigliosii*

Tabla 4: Valores promedios de los elementos leñosos de la especie.

<i>Elemento</i>	<i>Medición</i>	<i>Media</i>	σ	<i>E.E.</i>	<i>CV</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>
<i>Traqueidas</i>	<i>Longitud</i>	4837	402,8	104,0	8,3	4065,0	5343,0
	<i>Diámetro total</i>	44,1	2,5	0,6	5,7	40,0	49,0
	<i>Espesor de pared</i>	4,0	0,4	0,1	10,2	3,1	4,8
	<i>Diámetro lumen</i>	36,1	2,4	0,6	6,7	31,6	39,7
<i>Radios</i>	<i>Altura</i>	158	14,4	3,7	9,2	130,0	186,0
	<i>Ancho</i>	11	1,0	0,3	9,2	10,0	13,0
	<i>N° células en altura</i>	8	0,8	0,2	9,4	7,0	9,0
	<i>N° células en ancho</i>	1	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	<i>N°/mm lineal</i>	7	0,6	0,2	8,4	6,0	8,0

1.4. VARIACIÓN ENTRE ÁRBOLES Y NIVELES.

En la Tabla 5 y Figuras 12, 13 y 14 se presentan las mediciones promedio de los elementos leñosos por nivel, de manera general se puede decir que en el caso de la longitud de traqueidas, diámetro y diámetro de lumen existe la tendencia a aumentar del nivel basal a la parte media para luego disminuir en el nivel apical, dicha tendencia también fue observada por Vásquez (2010) en su estudio para la misma especie. Respecto al espesor de pared, se observa una tendencia de disminuir con la altura, esto concuerda con Panshin y De Zeuw (1980), quienes sostienen que axialmente las dimensiones de las traqueidas disminuyen con la altura del árbol. Para los radios se observa valores similares en las mediciones, excepto en la altura de los radios.

Los valores promedios de las mediciones de los elementos anatómicos por nivel y árbol se muestran en el Anexo 7, en la mayoría se encontró valores similares, tanto por árbol como por nivel, a excepción de la longitud de traqueidas en el que se puede observar para el árbol 2 una longitud promedio mayor a la de los árboles restantes, esto puede deberse a las características propias del árbol, y a la presencia de madera madura. Para el árbol 4, con respecto a longitud de traqueidas se observa la tendencia de disminuir con la altura, siendo esta variación axial la más común para otros autores como Panshin y De Zeeuw (1980), Santos (2004) y Amaral (2014)

En la Tabla 6 se observa el coeficiente de variación para la especie muestra datos homogéneos según la clasificación de Rubio (2002), que se puede apreciar en el Anexo 5.

El coeficiente de variación dentro y entre árboles, en la mayoría de los elementos anatómicos se observa que el coeficiente de variación es ligeramente mayor entre árboles que dentro del árbol; a excepción de ancho de radios y espesor de pared de traqueidas, donde el coeficiente de variación es mayor dentro de árboles lo que concuerda con Vásquez (2010); no obstante, todos los resultados muestran ser datos homogéneos de acuerdo a la clasificación de Rubio (2002).

Los valores de coeficiente de variación de los elementos anatómicos por árboles, la mayoría de los elementos varían entre datos regularmente homogéneos a datos variables, siendo la longitud de traqueidas la medición que presenta los coeficientes de variación más bajos considerados como regularmente homogéneos. Respecto a los valores de coeficientes de variación del diámetro de traqueidas se puede clasificar como datos regularmente variables, en diámetro de lumen son variables y en espesor de pared, los valores varían de regularmente homogéneos a regularmente variables. Los radios son considerados características muy variables, reflejados en los resultados con los valores más altos en número de células en altura y altura de radios, de acuerdo a la clasificación ya mencionada se consideran datos muy variables.

Tabla 5: Mediciones promedio de las elementos leñosos por nivel de corte

NIVELES	Traqueidas				RADIOS				
	Longitud (μm)	Diámetro total (μm)	Espesor pared (μm)	Diámetro lumen (μm)	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		Número por mm lineal
							Altura	Ancho	
Basal	4910	43	4.2	34.3	168	11	9	1	7
Medio	5024	45	4.1	37.2	149	12	8	1	7
Apical	4577	44	3.8	36.8	153	11	8	1	7
PROM.	4837	44	4.0	36.1	157	11	8	1	7

Tabla 6: Coeficiente de variación de los elementos leñosos

		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)							
		ARBOLES					Entre árboles	Entre niveles	De la especie
ELEMENTO		1	2	3	4	5			
Traqueidas	Longitud	11,41	9,96	12,41	11,54	15,67	9,06	7,85	8,30
	Diámetro	17,51	16,99	16,03	16,32	17,77	6,49	5,50	5,70
	Espesor de pared	15,94	12,49	14,35	17,08	14,00	8,80	10,07	10,20
	Diámetro de lumen	20,32	20,21	18,55	20,28	20,74	7,79	6,10	6,70
Radios	Altura	49,92	54,95	50,33	55,35	50,92	8,62	7,89	9,20
	Ancho	15,34	11,59	10,16	10,36	9,29	5,58	9,39	9,20
	N° células en Altura	50,02	56,60	52,69	52,63	53,57	8,91	8,33	9,40
	N° células en Ancho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N°/mm lineal	21,10	18,47	18,10	19,86	18,68	8,95	7,31	8,40

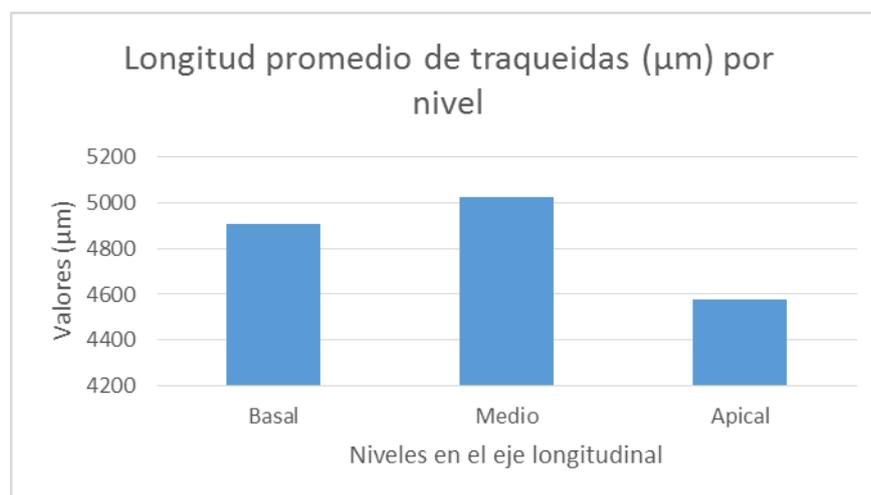


Figura 12: Variación de la longitud de traqueidas (µm) por nivel

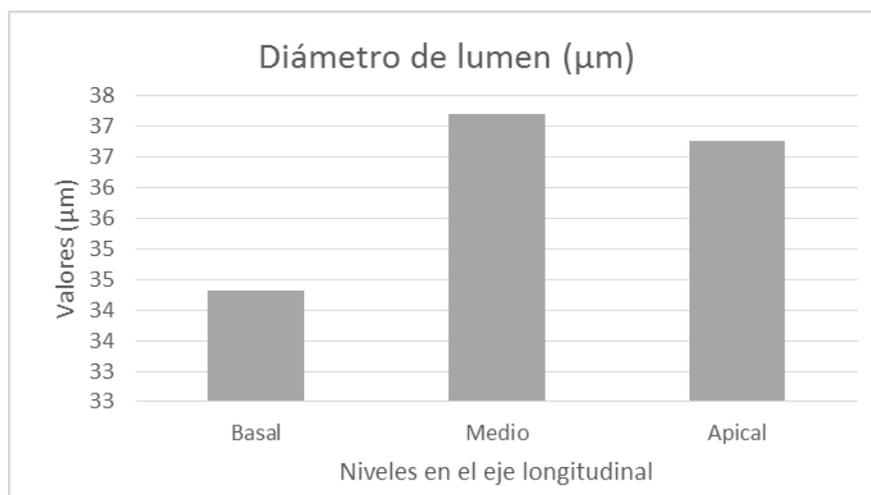


Figura 13: Variación del diámetro de lumen por nivel.

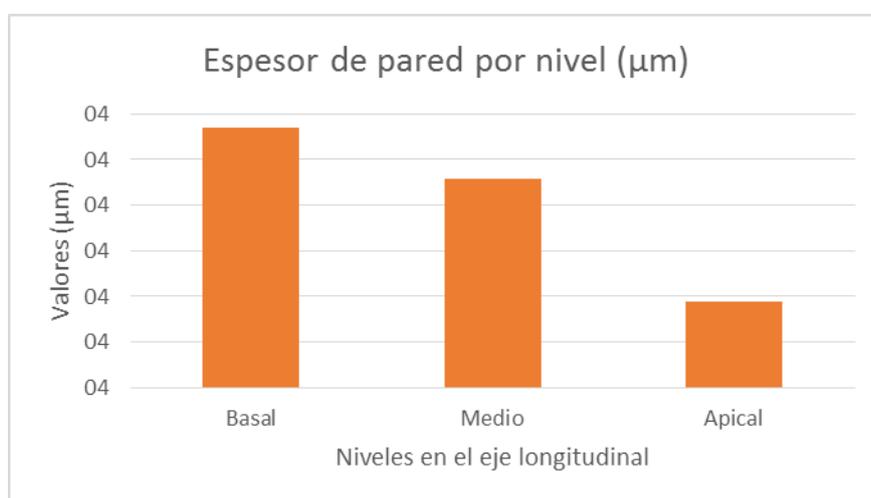


Figura 14: Variación del espesor de pared (µm) por nivel

La variación de la longitud de las traqueidas, diámetro de lumen y espesor de la pared celular por árbol y nivel se puede observar en las Figura 15, 16 y 17, en 3 de los 5 árboles (árbol 2, 3 y 5) observamos la misma tendencia de aumentar desde el nivel basal hacia el medio para luego disminuir en el nivel apical, sin embargo esta tendencia es muy notoria sólo en la longitud de traqueidas y diámetro de lumen. En los otros dos árboles (1 y 4) no se observó una tendencia definida, esto puede deberse a la posición radial de la que provino la probeta para el ensayo, pues puede tratarse de madera juvenil y madura explicándose así la diferencia entre las dimensiones por nivel.

En la Tabla 7 según los resultados de análisis de varianza, las dimensiones de las traqueidas: longitud, diámetro total, diámetro de lumen y espesor de pared celular no

presentaron diferencias significativas entre los niveles basal, medio y apical, ni entre los 5 árboles estudiados

Los radios son características muy variables en dimensión, por ello en el análisis de varianza se encontró dos características que presentaron diferencias significativas: ancho de radios considerando su variación entre árboles, y altura de radios considerando su variación entre niveles. Para ambos casos se realizó la prueba de Tukey, cuyos resultados obtenidos pueden verse en el Anexo 8. Dicha variación observada guarda relación con lo manifestado por Wilson y White, citados por León y Espinoza (2001) que sostienen que el rango de variación en una misma especie se puede presentar como la consecuencia de la edad y tasa de crecimiento del árbol.

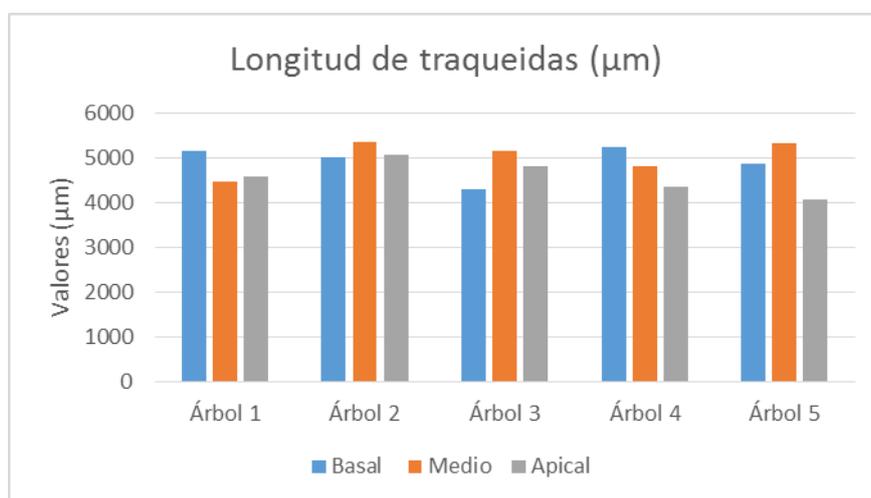


Figura 15: Variación de la longitud de traqueidas (µm) por árbol y nivel

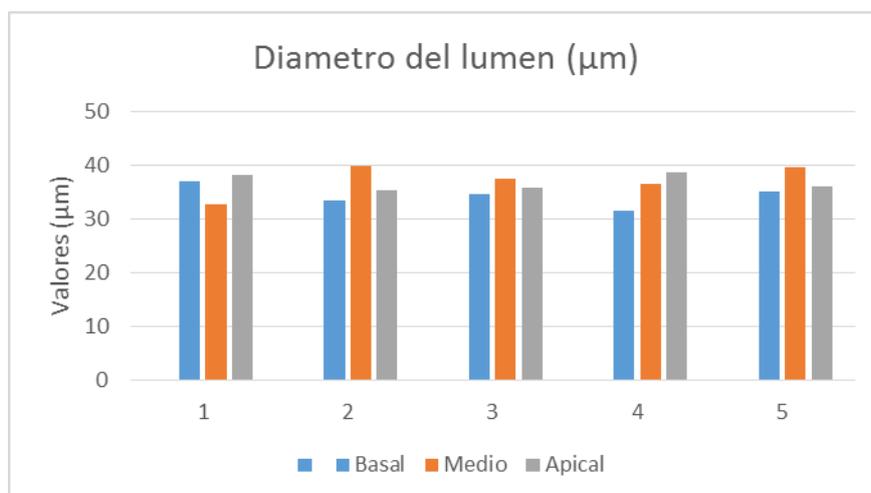


Figura 16: Variación del diámetro de lumen (µm) por árbol y nivel

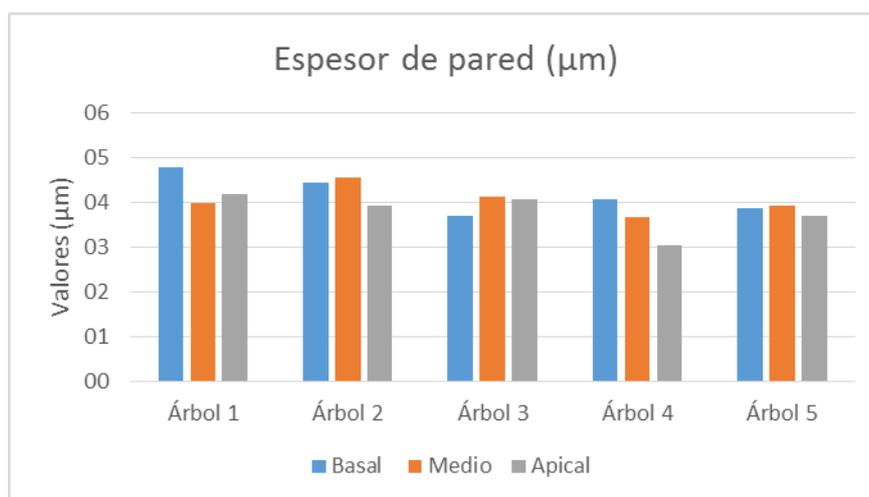


Figura 17: Variación del espesor de pared (μm) por árbol y nivel

Tabla 7: Significancia entre los árboles y niveles en las características anatómicas

CARACTERISTICAS ANATOMICAS	ENTRE ÁRBOLES		ENTRE NIVELES	
	<i>p valor</i>	<i>Significancia</i>	<i>p valor</i>	<i>Significancia</i>
TRAQUEIDAS				
<i>Longitud</i>	0,7309	N.S.	0,2670	N.S.
<i>Diámetro</i>	0,9444	N.S.	0,3964	N.S.
<i>Espesor de pared</i>	0,1248	N.S.	0,2365	N.S.
<i>Diámetro de lumen</i>	0,9763	N.S.	0,2393	N.S.
RADIOS				
<i>Altura</i>	0,1039	N.S.	0,0321	*
<i>Ancho</i>	0,0033	*	0,1031	N.S.
<i>N° células en Altura</i>	0,1336	N.S.	0,0509	N.S.
<i>N° células en Ancho</i>	-	-	-	-
<i>N°/ mm lineal</i>	0,5454	N.S.	0,1031	N.S.

Donde:

(*): Es significativo

N.S.: No significativo

2. PROPIEDADES FÍSICAS.

En las Tablas 8, 9 y 10 se presentan los promedios por nivel de las propiedades físicas, contenido de humedad, densidad, contracciones totales y parciales; para el contenido de humedad, densidades y contracción volumétrica total se observa que los valores aumentan de la base hasta la parte media para disminuir en el nivel apical, la variación de la densidad básica y anhidra por nivel se ilustra en la Figura 18, esta tendencia también se vio reflejada en el estudio de Vásquez (2010) para la misma especie, lo cual difiere de lo sostenido por Arroyo (1983), Bamber y Buley citados por Torres (2009), Jost (2006) y Hillig (2011) quienes señalan que la tendencia más común de variación entre las especies de coníferas es la disminución de la base hasta el ápice.

Los resultados promedios de las propiedades físicas, contenido de humedad y densidad por nivel y árbol se presentan en los Anexos 9, 10 y 11; con respecto al contenido de humedad todos los árboles presentaron un contenido de humedad promedio mayor al 100 por ciento, en los árboles 1, 2 y 3 el mayor contenido de humedad se observó en el nivel intermedio, mientras que en los árboles 4 y 5 se observó en el nivel apical y basal respectivamente.

En la Tabla 8 se observa que la densidad básica promedio obtenida para la especie es de 0,35. De acuerdo a la clasificación que propone Aróstegui (1982), que se incluye en el Anexo 4, al ulcumano le corresponde el grupo 2 (densidad de 0,30 – 0,40) clasificándose como una madera de densidad baja; mientras la densidad anhidra es de 0,38 g/cm³. Estos valores para la especie estudiada son menores a los reportados por Aróstegui y Sato (1970b) de 0,43 peso específico anhidro y 0,41 básicos, datos provenientes de Perú, y de 0,45 y 0,40 respectivamente provenientes de Venezuela. Por su parte Vásquez (2010) determinó una densidad básica media de 0,36 y 0,37 para dos procedencias distintas en plantaciones de 8 años en Colombia. En este contexto las diferencias en los resultados obtenidos puede atribuirse a la edad de la especie y procedencia, pues en el caso de Aróstegui y Sato los datos provienen de bosque natural. Pereyra y Gelid (2002) añaden que la variación de la densidad básica con la edad, está ligada al porcentaje de madera juvenil y adulta, encontrando valores más altos en árboles de mayor edad.

Tabla 8: Valores promedio de las características de contenido de humedad y densidad por nivel de corte.

<i>Nivel</i>	<i>Contenido de Humedad (%)</i>		<i>Densidad</i>	
	<i>Saturado</i>	<i>Seco al aire</i>	<i>Anhidra</i>	<i>Básica</i>
<i>Basal</i>	112,36	14,86	0,38	0,34
<i>Medio</i>	138,05	14,89	0,39	0,35
<i>Apical</i>	110,69	14,82	0,38	0,35
PROMEDIO	120,36	14,86	0,38	0,35

Tabla 9: Valores promedio de contracciones totales por nivel de corte.

<i>NIVEL</i>	<i>Contracciones totales (%)</i>				<i>T/R</i>
	<i>CVT</i>	<i>CTT</i>	<i>CRT</i>	<i>CLT</i>	
<i>Basal</i>	9,23	6,24	3,03	0,32	2,12
<i>Medio</i>	9,45	6,25	2,84	0,27	2,27
<i>Apical</i>	8,34	5,45	2,85	0,36	1,98
PROMEDIO	9,01	5,98	2,91	0,32	2,12

Donde: Contracción volumétrica total (CVT), contracción tangencial total (CTT), contracción radial total (CRT), contracción longitudinal total (CLT), relación entre la contracción tangencia y radial (T/R).

Tabla 10: Valores promedios de contracciones parciales por nivel

<i>Niveles</i>	<i>Contracción parcial (Saturado -seco al aire) (%)</i>			
	<i>CVP</i>	<i>CTP</i>	<i>CRP</i>	<i>CLP</i>
<i>Basal</i>	4,02	2,90	1,23	0,15
<i>Medio</i>	3,98	2,70	1,03	0,11
<i>Apical</i>	3,41	2,35	1,04	0,14
PROMEDIO	3,80	2,65	1,10	0,13

Donde: Contracción volumétrica parcial (CVP), contracción tangencial parcial (CTP), contracción radial parcial (CRP) y contracción longitudinal parcial (CLP)

Otro de los factores con los que se puede explicar los valores bajos obtenidos es la posición radial de las probetas, ya que puede ser madera juvenil, sobre ello Diaz-Vaz (1981), Haygreen y Bowyer (1982) y Pires de Moura (2012) sostienen que en madera juvenil se encuentra paredes delgadas, por tanto la densidad tiende a disminuir. Con respecto a la diferencia que existe con los datos obtenidos por Vásquez, si bien en ambos casos se trata de plantaciones, es influyente la edad de la plantación y los tratamientos silviculturales que se hayan realizado, en el caso de la plantación del presente estudio solo se dio un tratamiento silvicultural a la edad de 8 años, motivo por el cual podría explicarse que la especie creció en altura por competencia de luz y predomina la madera juvenil.

En la Tabla 9 y en la Figura 19 se observa la variación de las contracciones totales por nivel, no existe una tendencia definida para la variación de estas, la contracción volumétrica y tangencial tienden a aumentar de la base hacia la parte media y disminuir hacia el nivel apical mientras que en las contracciones radial y longitudinal disminuye hacia la parte central para luego aumentar. Respecto a las contracciones totales los resultados para la especie son: contracción volumétrica 9,01 por ciento; contracción tangencial 5,98 por ciento; radial 2,91 por ciento; longitudinal 0,32 por ciento y relación T/R 2,12. Los valores de contracción tangencial y radial son menores a los encontrados por Aróstegui y Sato (1970b); mientras el valor de la relación T/R es mayor en el presente estudio si lo comparamos con lo presentado por los mismos autores ya mencionados. De acuerdo a la clasificación de elaborada por Aróstegui (1982), por su contracción volumétrica se clasifica como una madera de baja contracción.

En los Anexos 10 y 11 se tienen los valores de contracción por nivel y árbol, para esta propiedad se obtuvieron resultados parciales y totales es decir de madera saturada a seca al aire y a seca al horno respectivamente. Los valores más bajos de contracción corresponden a los árboles 4 y 5, esto puede deberse al porcentaje de madera juvenil de las probetas ensayadas, además si se compara con los valores de densidad básica el árbol 5 también presenta valores bajos, y esta propiedad guarda relación directa con la contracción volumétrica (Jost 2006).

En la Tabla 11 se observan los coeficientes de variación por árbol, entre árboles, niveles y de la especie. La propiedad física que presentó una mayor variabilidad para la especie fue la contracción longitudinal total con 62,22 por ciento, considerando los datos como muy variables de acuerdo a la clasificación de Rubio (2002); mientras que la densidad básica

presentó el menor valor de coeficiente de variación de 8,72 por ciento, considerando los datos como muy homogéneos según la clasificación ya mencionada. La contracción volumétrica total, tangencial total y relación T/R de acuerdo a sus valores son datos regularmente homogéneos y la contracción radial total son datos regularmente variables. En general en todas las propiedades los valores del coeficiente de variabilidad fue mayor entre árboles que entre niveles, esto difiere de lo espuesto por Vásquez (2010) quien sostiene que frecuentemente la variabilidad es mayor dentro de un mismo árbol que entre los individuos de la misma especie.

En la Tabla 11 también se puede observar el coeficiente de variación por árbol, en lo que corresponde a densidad básica podemos decir que el árbol 2 es el más homogéneo pues presenta un coeficiente de variación de 2,06 por ciento y el árbol 1 él que presenta mayor coeficiente de variación con 10,69 por ciento. Acerca de las contracciones, el árbol que presenta mayor coeficiente de variación en contracción volumétrica y tangencial es el árbol 5, mientras que en contracción radial y longitudinal es el árbol 4.

En la Tabla 12 se observa los resultados del análisis de varianza, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad y las densidades.

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre árboles en las propiedades de contracción total volumétrica, radial y tangencial; y entre niveles sólo encontraron diferencias significativas en contracción tangencial. Con respecto a las contracciones parciales, se encontraron diferencias significativas entre árboles en contracción volumétrica, tangencial y radial, mientras que entre niveles sólo en contracción volumétrica y tangencial. Para todas las propiedades en las que se encontró diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey, los resultados se observan en el Anexo 14.

La contracción se considera un indicador del comportamiento de la madera frente al secado (Igartúa *et al.*, 2009), por ello se realizó una comparación entre los valores obtenidos mediante los ensayos en laboratorio y el valor teórico de la contracción volumétrica parcial, mediante la prueba T de Student, encontrando diferencias significativas, se observa en los Anexos 12 y 13. Se puede decir que esto se debe a que las maderas se ensayaron en estado verde por encima del 100 por ciento y para el valor teórico se asume un punto de saturación de las fibras del 30 por ciento.

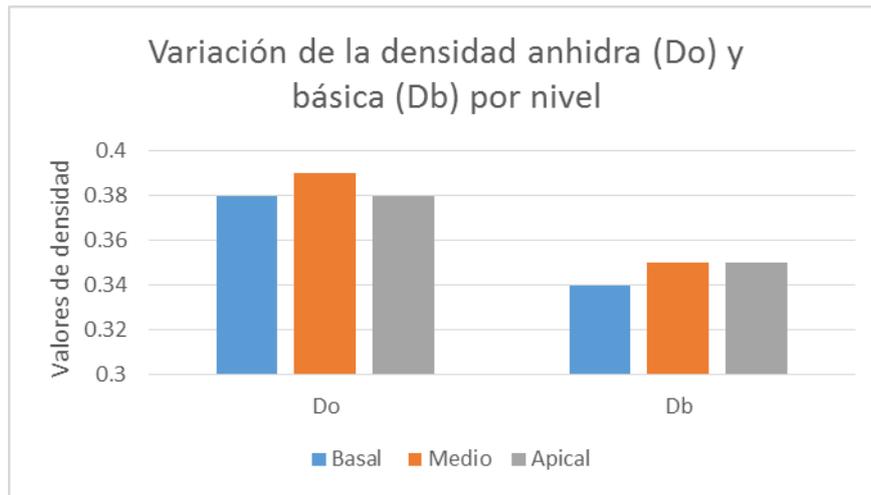


Figura 18: Variación de las densidades por nivel

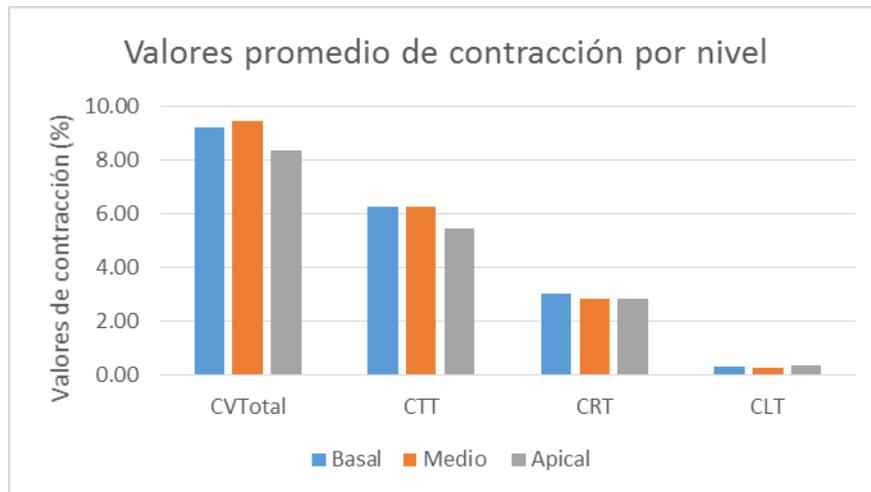


Figura 19: Variación de las contracciones totales por nivel

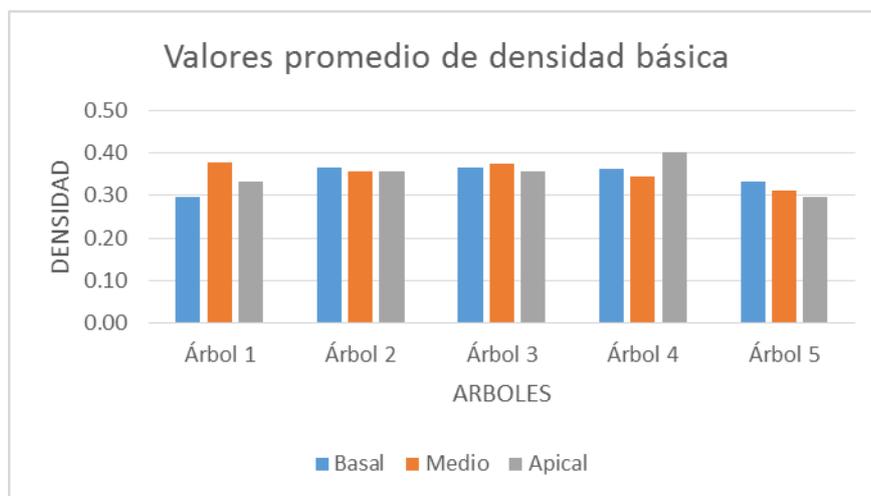


Figura 20: Variación de la densidad básica por árbol y nivel

Tabla 11: Coeficiente de variación de las principales propiedades físicas

PROPIEDADES FÍSICAS	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)							
	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4	Árbol 5	ENTRE ÁRBOLES	ENTRE NIVELES	TOTAL
Densidad básica	10,69	2,06	4,13	8,32	6,18	7,28	1,67	8,72
Contracción volumétrica total	11,50	9,26	9,66	11,89	13,51	12,49	6,53	13,98
Contracción tangencial total	11,87	10,04	9,5	15,4	14,07	11,49	7,68	13,85
Contracción radial total	22,54	12,79	14,29	30,48	16,6	14,30	3,68	16,38
Contracción longitudinal total	60,91	52,43	51,33	65,92	33,96	45,43	14,24	62,22
Relación T/R	22,66	13,59	10,86	21,84	18,42	6,04	6,83	10,4

Tabla 12: Significancia entre árboles y niveles

PROPIEDADES FÍSICAS	ENTRE ÁRBOLES		ENTRE NIVELES	
	p valor	Significancia	p valor	Significancia
Densidad básica	0,1333	N.S.	0,8810	N.S.
Contracción volumétrica total	0,0058	*	0,0709	N.S.
Contracción tangencial total	0,0032	*	0,0191	*
Contracción radial total	0,0373	*	0,6276	N.S.
Contracción longitudinal total	0,2138	N.S.	0,7577	N.S.
Relación T/R	0,3077	N.S.	0,1106	N.S.
Contracción volumétrica parcial	0,0012	*	0,0268	*
Contracción tangencial parcial	0,0022	*	0,0087	*
Contracción radial parcial	0,0024	*	0,0274	*
Contracción longitudinal parcial	0,2837	N.S.	0,6829	N.S.

Donde:

(*): Es significativo

N.S.: No significatio

3. INTERRELACIÓN ANATOMÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS.

3.1. CORRELACIÓN.

Mediante el análisis de correlación se ha podido establecer qué grado de asociación existe entre las variables, tanto en las características anatómicas como en las propiedades físicas. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 13.

El mayor coeficiente de correlación se encontró entre las características anatómicas de diámetro de lumen y diámetro de las traqueidas con un valor de 0,98, al igual que las características de altura de radios y número de células en altura, este valor indica una fuerte relación entre ellas, según la clasificación de Calzada (1982) en el Anexo 6, que lo considera un coeficiente muy alto, presentando una relación directa al ser los coeficientes positivos. Respecto a las propiedades físicas, se encontró el valor más alto de correlación entre las propiedades de contenido de humedad y contracción volumétrica total con un valor de 0,67, para Calzada (1982) es un coeficiente alto. Este resultado guarda relación con lo establecido por Arroyo (1983) pues atribuye los cambios dimensionales de la madera al contenido de humedad.

En las características anatómicas, se determinó valores de correlación positivos entre la longitud de traqueidas y el espesor de pared celular (0,26), diámetro de traqueidas y espesor de pared (0,28); no obstante las asociaciones son muy bajas (Calzada 1982).

Las correlaciones son significativas entre la densidad básica y la contracción volumétrica total (0,31) y del mismo modo para la densidad básica y la contracción longitudinal total (0,46), siendo coeficientes muy bajo y bajo respectivamente. El contenido de humedad y las propiedades de densidad básica y contracciones totales muestran todos valores de correlación significativas, tal como se muestra en la Tabla 14.

En relación a las características anatómicas y las propiedades físicas, los coeficientes de correlación encontrados son en su mayoría bajos y no significativos, la totalidad de estos se puede observar en el Anexo 15. En la Tabla 13 se puede observar los coeficientes de correlación significativos para las características anatómicas y las propiedades físicas de densidad básica y las contracciones.

Entre densidad básica y las características de espesor de pared y diámetro de traqueidas las correlaciones fueron negativas de -0,22 y -0,11 respectivamente, esto quiere decir que a

medida que aumenta uno disminuye el otro, esto ilustra en las Figuras 21 y 22. Los valores encontrados son muy bajos de acuerdo a la clasificación de Calzada (1982), esto puede deberse a que las características anatómicas no provienen de las mismas probetas en las que se realizaron en los ensayos de las propiedades físicas, Chambergo (1984) encontró valores bajos de correlación y recomienda que las mediciones de los elementos anatómicos deben efectuarse de la misma probeta ensayada en propiedades físico mecánicas, con la finalidad de eliminar la variabilidad que existe dentro del árbol.

Respecto a las contracciones, se ha encontrado que tanto la contracción volumétrica, tangencial y radial presentan correlaciones significativas y positivas con las características anatómicas de espesor de pared y longitud de traqueidas, esto guarda relación con lo que sostiene Jost (2006) una relación positiva entre la contracción volumétrica total y espesor de pared. Mientras que la contracción longitudinal presenta correlaciones significativas y negativas con las características anatómicas de longitud de traqueidas, espesor de pared, diámetro total y diámetro de lumen.

3.2. REGRESIÓN.

En el análisis de regresión se determina la relación que existe entre la variable dependiente “Y” y la independiente “X”, así mismo se halló ecuaciones de regresión que permitan predecir la variable dependiente, estos resultados se pueden observar en la Tabla 14. Para las características anatómicas se obtuvieron coeficientes de determinación altos entre el diámetro de traqueidas (X) y el diámetro de lumen (Y) con un valor de 97 por ciento, y la altura de radios (X) y el número de células en altura (Y) también con un valor de 96 por ciento.

Los coeficientes de determinación que se obtienen de la relación entre la densidad básica (X) y la contracción (Y) son: para la contracción volumétrica total de 9,3 por ciento y para la contracción longitudinal total 21 por ciento. Para el caso de las contracciones tangencial y radial, se hallaron ecuaciones de segundo grado, con coeficientes de determinación de 25 por ciento y 15 por ciento respectivamente.

La relación entre el contenido de humedad (X) y las demás propiedades físicas (Y) dan como resultado coeficientes de determinación significativos. Para la densidad básica el coeficiente es de 34 por ciento, mientras que para la contracción volumétrica, tangencial, radial y longitudinal se hallaron los siguientes coeficientes de determinación de 45 por

ciento, 29 por ciento, 12 por ciento y 2,4 por ciento respectivamente. De este análisis se puede decir que las propiedades físicas con el contenido de humedad guardan una fuerte relación explicada por ecuaciones lineales, esto se ve reflejado en lo que sostiene Arroyo (1983) acerca de que el contenido de humedad es la propiedad que tiene mayor influencia sobre las demás propiedades.

En general los coeficientes de determinación son relativamente bajos, pero nos sirve para explicar qué porcentaje de la variable dependiente (Y) se ve afectado por la variable independiente (X). Estos resultados quieren decir que deben existir más variables que no han sido consideradas y que afectan el comportamiento de las propiedades físicas y anatomía de la madera, esto factores pueden ser la influencia de madera temprana y adulta, tratamientos silviculturales, entre otros.

Con respecto a la relación que existe entre las características anatómicas y propiedades físicas, se puede apreciar en las Figuras 23 y 24, que para longitud de traqueidas y espesor de pared celular (variables x) con densidad básica (variable y), los resultados son muy variables, es decir no se ve una tendencia definida, por lo cual no se puede realizar el análisis de regresión que permita explicar el comportamiento de la densidad básica con respecto a las características anatómicas. Este resultado puede deberse a que los resultados anatómicos provienen de una probeta de diferente posición a las ensayadas en propiedades físicas. Si bien son del mismo nivel, la posición de la probeta es importante en estos casos, pues existe madera juvenil y madura, lo cual explicaría las diferencias entre árboles y niveles; la misma observación fue realizada por Chambergo (1984).

Tabla 13: Coeficientes de correlación de las propiedades físicas y características anatómicas

<i>Propiedades físicas</i>	<i>Características anatómicas</i>	<i>Coefficiente de Correlación</i>
Densidad básica	Espesor de pared	-0.22
	Diámetro total	-0.11
Contracción volumétrica total	Longitud de traqueidas	0.2
	Espesor de pared	0.20
Contracción tangencial total	Longitud de traqueidas	0.15
	Espesor de pared	0.22
Contracción radia total	Longitud de traqueidas	0.12
	Espesor de pared	0.18
Contracción longitudinal total	Longitud de traqueidas	-0.13
	Espesor de pared	-0.22
	Diámetro total	-0.12
	Diámetro de lumen	-0.08

Tabla 14: Coeficientes de correlación, determinación y ecuaciones de regresión.

<i>Variable dependiente (Y)</i>	<i>Variable independiente (X)</i>	<i>R</i>	<i>R²</i>	<i>ECUACIÓN DE REGRESIÓN</i>
Diámetro de lumen	Diámetro de traqueidas	0,98	0,97	$Y = -5,78 + 0,95X$
N° células en altura de radios	Altura de radios	0,98	0,96	$Y = 0,059 + 0,052X$
Espesor de pared	Longitud de traqueidas	0,26	0,067	$Y = 2,67 + 0,00028X$
Espesor de pared	Diámetro de traqueidas	0,28	0,078	$Y = 2,93 + 0,024X$
Contracción volumétrica total	Densidad básica	0,31	0,093	$Y = 4,34 + 13,38X$
Contracción tangencial total	Densidad básica	0,53	0,25	$Y = -37,95 + 253,90X - 363,85X^2$
Contracción radial total	Densidad básica	0,39	0,15	$Y = -20,24 + 132,49X - 188,05X^2$
Contracción longitudinal total	Densidad básica	0,46	0,21	$Y = -0,88 + 3,44X$
Densidad básica	Contenido de humedad	0,58	0,34	$Y = 0,29 + 0,000524X$
Contracción volumétrica total	Contenido de humedad	0,67	0,45	$Y = 5,80 + 0,0267X$
Contracción tangencial total	Contenido de humedad	0,53	0,29	$Y = 4,24 + 0,014X$
Contracción radial total	Contenido de humedad	0,35	0,12	$Y = 2,11 + 0,0066X$
Contracción longitudinal total	Contenido de humedad	-0,15	0,024	$Y = 0,44 - 0,00105X$

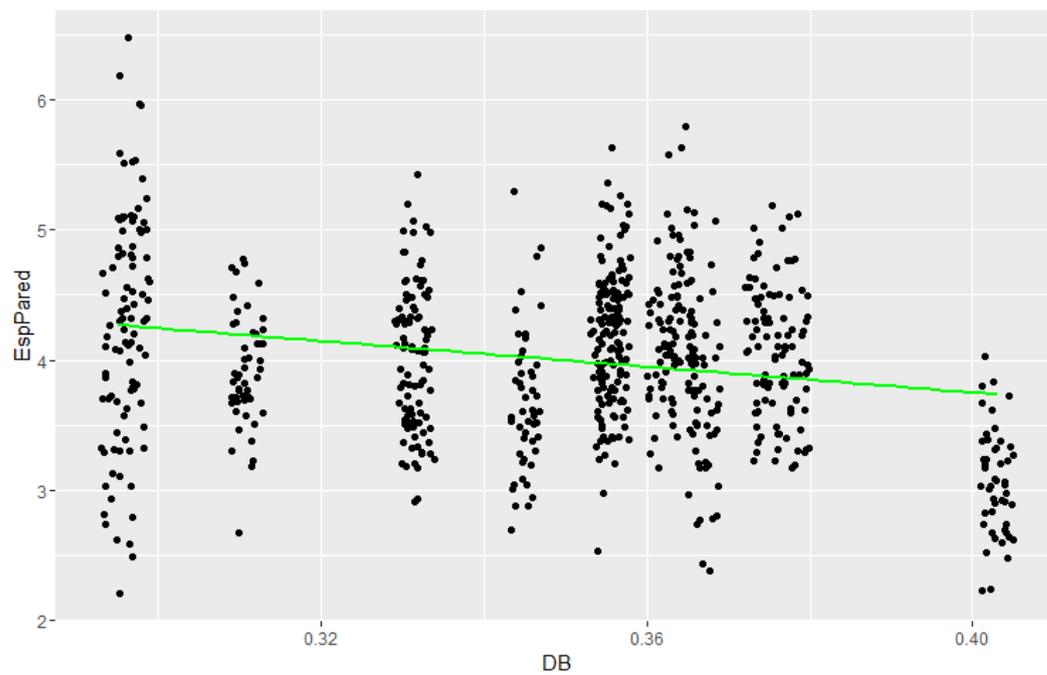


Figura 21: Relación entre la densidad básica y el espesor de pared celular

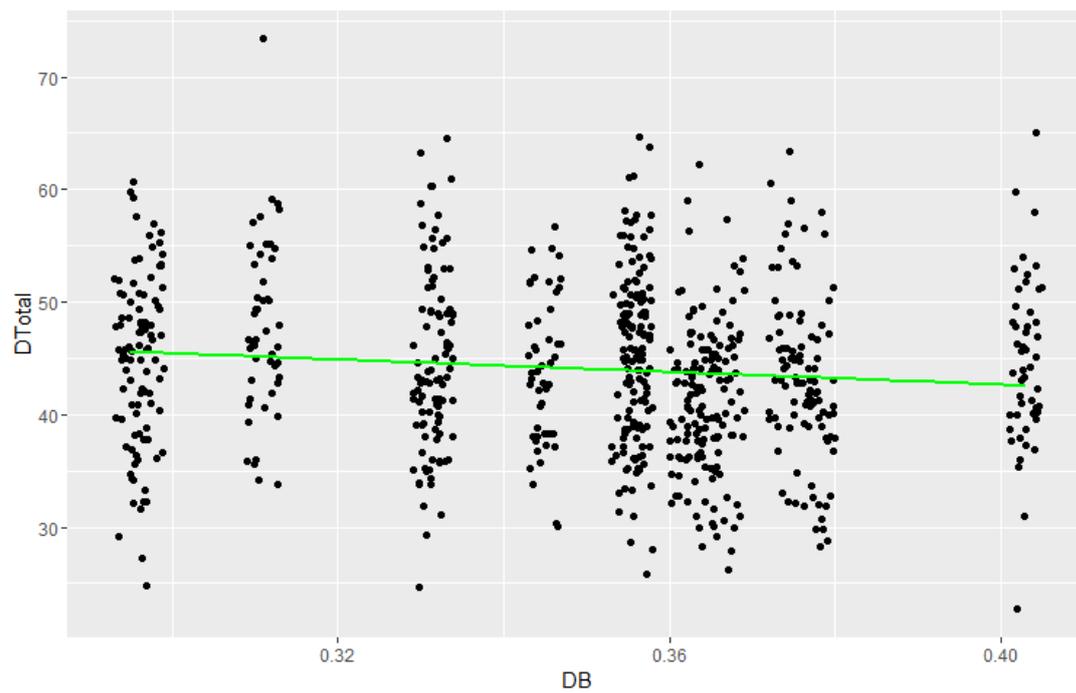


Figura 22: Relación entre la densidad básica y diámetro de traqueidas

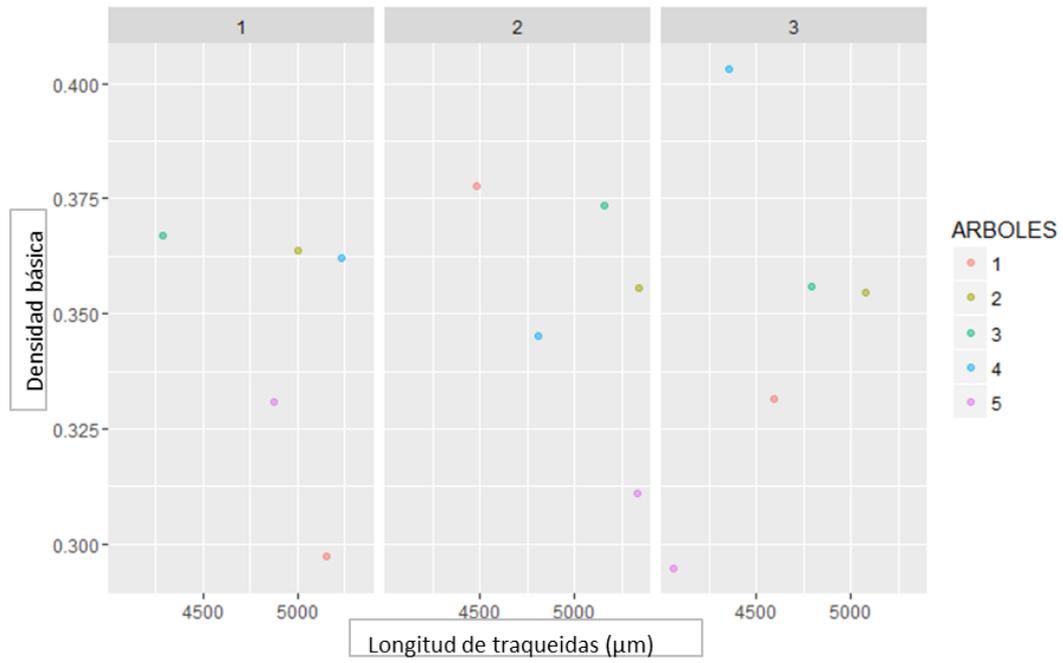


Figura 23: Relación en la longitud de traqueidas y la densidad básica por árbol y nivel

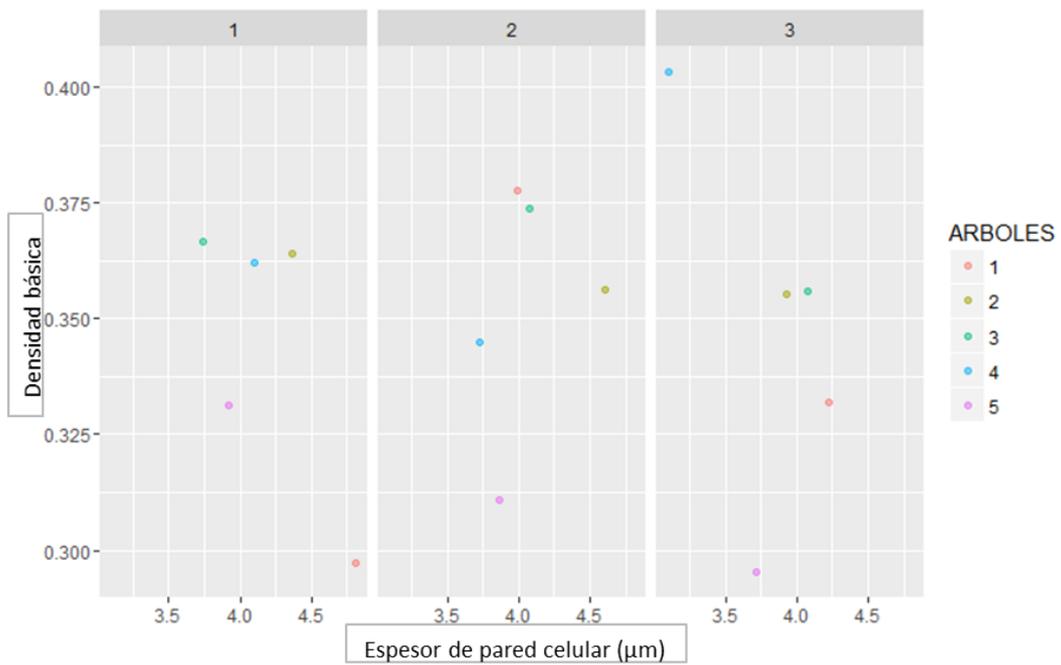


Figura 24: Relación entre el espesor de pared y la densidad básica por árbol y nivel

4. COMPARACIÓN ENTRE DIMENSIONES ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS CONSIDERANDO EL ESTRATO DE PROCEDENCIA DEL ÁRBOL.

En la Tabla 15 se puede observar los valores de la densidad básica, contracción volumétrica y mediciones de la longitud de traqueidas, diámetro de lumen y espesor de pared celular; diferenciando los árboles de acuerdo al estrato del que provienen: sólo ulcumano, ulcumano con otras especies y la asociación de ulcumano con café.

Tabla 15: Comparación entre árboles de acuerdo a estratos para algunas dimensiones anatómicas, densidad básica y contracción volumétrica.

PROPIEDADES	ARBOLES	Ulcumano (S1)				Ulcumano y especies nativas (S3)	Ulcumano y café (S2)
		1	2	3	PROM.	4	5
Densidad básica	Basal	0,297	0,364	0,367	0,34	0,362	0,331
	Medio	0,378	0,356	0,374	0,37	0,345	0,311
	Apical	0,332	0,355	0,356	0,35	0,403	0,295
	Promedio	0,336	0,359	0,366	0,35	0,370	0,313
Contracción Volumétrica Total (%)	Basal	7,87	10,59	10,77	9,74	7,85	9,05
	Medio	8,91	10,1	10,76	9,92	8,99	8,46
	Apical	8,71	9,94	9,15	9,27	7,06	6,87
	Promedio	8,5	10,21	10,23	9,65	7,97	8,12
Longitud de traqueidas (µm)	Basal	5153	5004	4285	4814	5230	4878
	Medio	4481	5343	5158	4994	4804	5336
	Apical	4591	5076	4798	4821	4356	4065
	Promedio	4742	5141	4747	4876	4797	4760
Diámetro de lumen (µm)	Basal	36,9	33,4	34,5	34,9	31,6	35,2
	Medio	32,6	39,7	37,6	36,6	36,5	39,5
	Apical	38,1	35,2	35,8	36,4	38,6	36
	Promedio	35,9	36,1	36	36,0	35,6	36,9
Espesor de pared (µm)	Basal	4,8	4,4	3,7	4,3	4,1	3,9
	Medio	4,0	4,6	4,1	4,2	3,7	3,9
	Apical	4,2	3,9	4,1	4,1	3,1	3,7
	Promedio	4,3	4,3	4,0	4,2	3,6	3,8

Se observa que el árbol 5, es el que presenta menor densidad básica, mayor lumen y menor longitud de traqueidas, esto podría atribuirse al efecto de café en su crecimiento, Brack (1985) señala que esta asociación resulta favorable para el café pero no sé tiene el efecto de este en el ulcumano, además Keddy citado por Crecente *et al.* (2007) sostiene que producto

de la competencia entre especies surge un efecto negativo de un organismo sobre otro debido al consumo o al control que realiza sobre el acceso a un determinado recurso (luz, agua o nutrientes) de disponibilidad limitada. Para el árbol 4, asociado con otras especies, se observa el mayor valor de densidad básica, menor lumen y menor valor de contracción volumétrica, podría explicarse al efecto del crecimiento con otras especies y a la materia orgánica y nutrientes que pueden proveerle a la especie; para los árboles 1, 2 y 3, se encontró en promedio el mayor valor para la longitud de traqueidas y espesor de pared así como también para la contracción volumétrica, sin embargo se obtuvo un valor medio para la densidad, esto puede deberse a la competencia propia de la especie y al raleo realizado en la plantación, de acuerdo a lo sostenido por Leich, citado por Muñoz *et al.* (2010) el raleo incrementa la tasa de crecimiento generando mayor proporción de madera juvenil y con ello menor densidad básica. En general estas variaciones observadas en los árboles según su estrato de procedencia podría justificarse conforme a lo sostenido por Arroyo (1983) quien señala que las variaciones en las propiedades de la madera se deben a patrones de crecimiento, así como también hay influencias ambientales que afectan ese crecimiento, tales como clima, suelo, humedad y competencia.

En base a los resultados se puede decir que el ulcumano presenta mejores propiedades físicas cuando crece en combinación con otras especies, pues se observa el mayor valor densidad básica y el menor valor de contracción volumétrica, mientras que cuando está asociado con café la densidad disminuye y la contracción aumenta; debiendo indicarse que para el caso del presente estudio el ulcumano utilizado proveniente de la plantación fue con el fin de ejercer sombra al café y no como objetivo principal la obtención de un producto maderable de la plantación.

5. COMPARACIÓN CON ESPECIES DE DENSIDAD BÁSICA SIMILAR.

En la Tabla 16 se puede observar las propiedades físicas obtenidas para el presente estudio y la comparación con los datos obtenidos por Vásquez (2010) en una plantación de 8 años y la información de Aróstegui y Sato (1970b) para bosque natural de la misma especie, a su vez se compara con los resultados de Jost para una plantación de *Araucaria angustifolia* de 15 años de edad, en base a la densidad básica y los valores de contracción, se recomienda emplear la madera de *Retrophyllum rospigliossii* en muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, laminado, contrachapado y tableros de fibra y de partículas, esto concuerda con el uso que recomienda García (2017) para la misma especie, además considera la madera para pulpa y papel al igual que Vásquez (2010), y de acuerdo a los valores obtenidos para la longitud de traqueidas también podría incluirse ese uso.

Tabla 16: Comparación con especies de densidad similar

ESPECIES	<i>Retrophyllum rospigliossii</i> (*)	<i>Retrophyllum rospigliossii</i> (Vásquez 2010)	<i>Retrophyllum rospigliossii</i> (Aróstegui y Sato, 1970)	<i>Araucaria angustifolia</i> (Jost 2006)
Longitud de traqueidas	4837 μm	2310 - 2370 μm	-	-
Densidad básica	0,35	0,36 - 0,37	0,41	0,37
Contracción volumétrica total	9,01	-	-	9,26
Contracción Radial total	2,91	-	3,6	3,62
Contracción tangencial total	5,98	-	7,3	6,21
Relación T/R	2,12	-	2	1,72
USO	Muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, laminado, contrachapado y tableros de fibra y de partículas	Elaboración de Lápices, pulpa, papel, tableros aglomerados, palillos mondadientes, fósforos, cucharillas de helado, depresores, linguales, juguetería infantiles y similares.	Muebles, construcción, obras de interiores, carpintería y cajonería.	Madera no estructural en muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, así como para tejas debidamente preservadas, laminado, contrachapado y tableros de fibra y de partículas.

(*) Resultados del presente estudio

V. CONCLUSIONES

- 1) Las características anatómicas de la madera de la especie *Retrophyllum rospigliosii*, en general presentan una tendencia de aumentar de la base a la parte media para luego disminuir en el ápice.
- 2) En las características anatómicas, entre árboles se encontró que el ancho de radios presenta diferencias significativas. Mientras entre los diferentes niveles sólo hay diferencias significativas en la altura de radios. Las otras características no presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza.
- 3) Los valores de los coeficientes de variabilidad de las características anatómicas, permiten considerarla como una madera homogénea.
- 4) El diámetro de traqueidas y diámetro de lumen, así como la altura de radios y el número de células en altura, presentan un alto grado de asociación.
- 5) Las propiedades físicas de la madera de la especie *Retrophyllum rospigliosii* no presentaron una tendencia definida con respecto a su variación en el eje longitudinal.
- 6) Se encontraron diferencias significativas entre árboles en las propiedades de contracción volumétrica, tangencial y radial total y parcial; así como entre los niveles en contracción tangencial total y volumétrica y tangencial parcial.
- 7) Se encontraron diferencias en las características anatómicas y propiedades físicas de acuerdo a la procedencia del árbol, encontrando menores valores en la madera de la asociación ulcumano – café.

VI. RECOMENDACIONES

- Determinar la caracterización anatómica en las probetas que se utilizaron para los ensayos de propiedades físicas.
- Realizar un estudio que permita conocer el efecto del sistema agroforestal ulcumano-café en la calidad de la madera.
- Se recomienda las posibles aptitudes de uso: muebles, carpintería de obra, obras de torneado y artesanía, molduras, cajonería, laminado, contrachapado y tableros de fibra y de partículas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M; Kikata, 1994. Atlas de maderas del Perú. Lima, PE. Publifor. pp. 93. 202 p.
- Amaral, D. 2014. Anatómica de nós de *Pinus elliottii* var. *Elliottii*. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad Federal de Paraná. Brasil. 156 p.
- Amaya J. 1985. Tratamientos Pregerminativos de *Juglans Neotropica* Diels y *Podocarpus Rospigliosii* Pilger, en inmersiones de agua y ácido giberelico. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal. UNALM. Perú. 111 p.
- Arévalo L. s.f. Definición y clasificación de sistemas agroforestales (en línea). Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Disponible en <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigacion/inia/inia-i4/inia-i4-02.htm>
- Aróstegui A; Sato A. 1970a. Estudio de las Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera de 16 especies forestales del Perú. Revista Forestal del Perú V.4 (1-2): 13 -23.
- _____, A.; Sato, A. 1970b. Propiedades Físico – Mecánicas y Usos de dos Especies de *Podocarpus* (*P. Rospigliosii* Pilger; *P. Montanus* vas *Meridensis* Bucholz y Gray. Revista Forestal del Perú. V.4 (1-2): 3 – 12
- _____, A; Valenzuela W; Párraga R. 1973. Aptitud de 10 maderas nacionales en la industria de la construcción. UNALM. 148 P.
- _____, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Documento de trabajo N° 2. PNUD-FAO. Lima, Perú. 57 p.
- Arroyo J. 1983. Propiedades Físico-Mecánicas de la Madera, Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela 186 p.
- Brack F. 1984. Bases para la alta productividad del café. Instituto Nacional Forestal y de Fauna. Proyecto Peruano - Alemán, San Ramón. Perú. 84 – 91 p.

- Brack, W; Suárez, M; Martel, A; Amiquero, B; Brack, A. 1985. Sistemas Agrosilvopastoriles e Importancia de la Agroforestería en el Desarrollo de la Selva Central. Proyecto Peruano – Alemán Desarrollo Forestal y Agroforestal en Selva Central. Ministerio de Agricultura – INFOR – GTZ. Perú. 254 p.
- Calzada, B. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Milagros S.A. Lima, PE 644 p.
- Chambergó, A. 1984. Influencia de los elementos xilemáticos en las propiedades físico-mecánicas de 45 maderas del Perú. Tesis para optar al título de Ing. Forestal. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. 110 p.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. 1972. Maderas: Métodos para realizar el análisis estadístico de las propiedades de las maderas. Esquema 1° de Norma COPANT 30:1-012. 8 p.
- Crecente F; Vásquez E; Rodríguez R; Diéguez U. 2007. Influencia de la competencia en el crecimiento individual de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 167 – 174 p.
- Díaz M; Pecho R; Guarda D. S.f. Variación de las propiedades físicas de *Calycophyllum Spruceanum* (Benth) Hooker F. Ex Chuman (capirona) de una plantación de ocho años en la zona Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 18 p.
- Díaz-Vaz J. 1981. Delimitación de madera temprana – tardía y juvenil – madera en pino oregon. Bosque Vol. 4. N° 1. 4 p.
- Figueroa, A. 2007. Variación de densidad básica en la madera de *Pinus taeda* L. Tesis para optar al título de Ingeniero en Maderas. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 47 p.
- García, H. 2017. Propiedades mecánicas del ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) procedente de una plantación de 32 años de edad asociado a cultivo de café, en Villa Rica – Perú. Tesis para optar al título de Ing. Forestal. UNALM. Perú.
- Haygreen, J., Bowyer, J. 1982. Forest products and wood science. An introduction. Iowa, US, The Iowa State University. 495 p.

- Herrera, Z. 1987. Inter-Relación entre la Densidad Básica y las características anatómicas en tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke) y Pumaquiro (*Aspidosperma macrocarpon* Mart.). Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en la Especialidad de Industrias Forestales. UNALM. Perú. 218 p.
- Hillig, E; De Oliveira, G; Leonardo, D; Marques, G. 2011. Propiedades físicas da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. Universidad Federal de Lavras. Brasil. Cerne v18. N° 2. 257 - 263 p.
- IAWA (International Association of Woods Anatomists). 2004. IAWA List of microscopic features for softwood identification. IAWA Journal 25 (1): 1-70.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 1991. Normas de procedimientos em estudos do anatomía do madeira: II. Gimnosperame. Brasil. 5 p.
- Igartúa, D; Monteoliva, S; Piter, J. 2009. Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de *Acacia melanoxylon* en Argentina. Maderas. Ciencia y tecnología 11(1): 3 – 18 p.
- Jost, F. 2006. Propiedades físicas y mecánicas de *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones de Oxapampa. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. UNALM. Perú. 159 p.
- Jiménez F; Muschler R. 1999. Conceptos básicos de Agroforestería. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 33 p.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1981. Descripción general y anatómica de 105 maderas del grupo andino. Cali: Talleres Gráficos Carvajal S.A. 441 p.
- La Torre E. 2012. Sistemas agroforestales en Selva. Criterios de producción sostenible. Lima: desco. Programa Selva Central. 64 p.
- León W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. Revista Forestal Venezolana. V 54 (1): 67 – 76 p.
- _____.; Espinoza N. 2001. Anatomía de la madera. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico. Merida – Venezuela. 396 p.

- MUNSELL COLOR COMPANY. 1977. Munsell soil color charts. Baltimore, Maryland. U.S.A.
- Muñoz F; Neira A; Cancino J. 2010. Efecto del raleo en la densidad básica de la madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. Interciencia, Caracas, Venezuela. Vol. 35, núm. 8. 581-585 p
- NTP (Norma Técnica Peruana). 1980. Maderas, Selección y colección de muestras. NTP 251.008 Lima, Perú. 11 p.
- _____. 2004. Método para determinar el contenido de humedad. NTP 251.010. Lima, Perú. 13 p.
- _____. 2004. Método de determinación de la densidad. NTP 251.011. Lima, Perú. 9 p.
- _____. 2004. Método de determinación de la contracción. NTP 251.012. Lima, Perú. 9 p.
- Panshin A.; De Zeeuw C. 1980. Textbook of wood technology. 4 ed. New York, US, McGraw-Hill. 722 p.
- Pereyra O.; Gelid M. 2002. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y Norte de Corrientes. Revista Floresta 33 (1) 3 – 19 p.
- Pires de Moura G.; Figueiredo V.; Durgante E.; Do Nascimento M.; De Rezende M. 2012. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.1. 191 – 200 p.
- Rall, R. 2006. Influência das características dos anéis de crescimento na Densidade, resistência e rigidez da madeira de *Pinus taeda* l. Tesis presentada para optar al título de Maestría en Agronomía. Universidad Estatal Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. Brasil. 86 p.
- Ramos T. 2011. Sistemas agroforestales con café y especies valiosas en el sistema agroforestal. Municipalidad de Chanchamayo.
- Reynel C.; Pennington T. D.; Pennington R. T.; Marcelo J.; Daza A. 2006. Árboles Útiles del Ande Peruano. 203 p.
- Rubio, J. 2002. Estadística. Universidad Nacional Agraria La Molina. 175 p.

- Santos J. 2004. Anatomía y variación de las propiedades físicas seleccionadas en la madera joven de Pino caribe (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) producida en el municipio de El Estor departamento de Izabal. Tesis para optar al título de Ing. Agrónomo. Universidad San Carlos de Guatemala. 85 p.
- Silva Z. 2005. Características anatómicas y propiedades físicas de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke, (Tornillo) de diferentes edades, provenientes de plantaciones de Jenaro Herrera. Tesis para optar al Título de Ing. Forestal. Lima, Perú. UNALM. 105 p.
- Torres F. 2009. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de la especie Pino chuncho (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) proveniente de plantaciones del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt – Ucayali. Tesis para optar al título de Ing. Forestal. UNALM. 126 p.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (en línea). Sant Louis – Missouri. Consultado 20 jun. 2017. Disponible en <http://www.tropicos.org>
- Vásquez A. 2010. Anatomía de la Madera de las podocarpáceas colombianas. Tesis Doctoral. Córdoba, España. Universidad de Córdoba. 147 p.
- Vilcayauri E. 2009. Propiedades Físico-Mecánicas de *Simarouba amara* Aubl. (Marupa) proveniente de plantaciones de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt. Tesis para optar al título de Ing. Forestal. UNALM. 85 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE ESPECIE.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES FAX: 349-2041 TEF: 349-5647 / 349-5609 Anexo 203
/244 APDO. 12 - 056 LA MOLINA LIMA PERU

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud de la Señorita **Sheyla Yanett Chumbimune Vivanco**, Bachiller en Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se proporciona la identidad de los especímenes indicados, los cuales se hallan depositado en el Herbario Forestal (MOL). La información alcanzada por el depositante sobre la procedencia de las muestras es:

Zona de Colección : Fundo San Gerónimo, Distrito de Villa Rica
Provincia : Oxapampa
Región : Pasco
Colector : Sheyla Yanett Chumbimune Vivanco

Nº COL	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FAMILIA
01-05	<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	"Ulcumano"	PODOCARPACEAE

(Pilg.)C.N.Page

Determinador:

Carlos Reynel Rodríguez Ph.D.
Profesor Principal Dpto. Manejo Forestal
Director del Laboratorio de Dendrología
Y Herbario Forestal UNALM (MOL)



La Molina, 18 de abril 2016

* ROGAMOS A LOS USUARIOS DE LOS SERVICIOS DE HERBARIO FORESTAL (MOL) TENER ESPECIAL CUIDADO EN TRANSCRIBIR CORRECTAMENTE LOS NOMBRES PROPORCIONADOS.

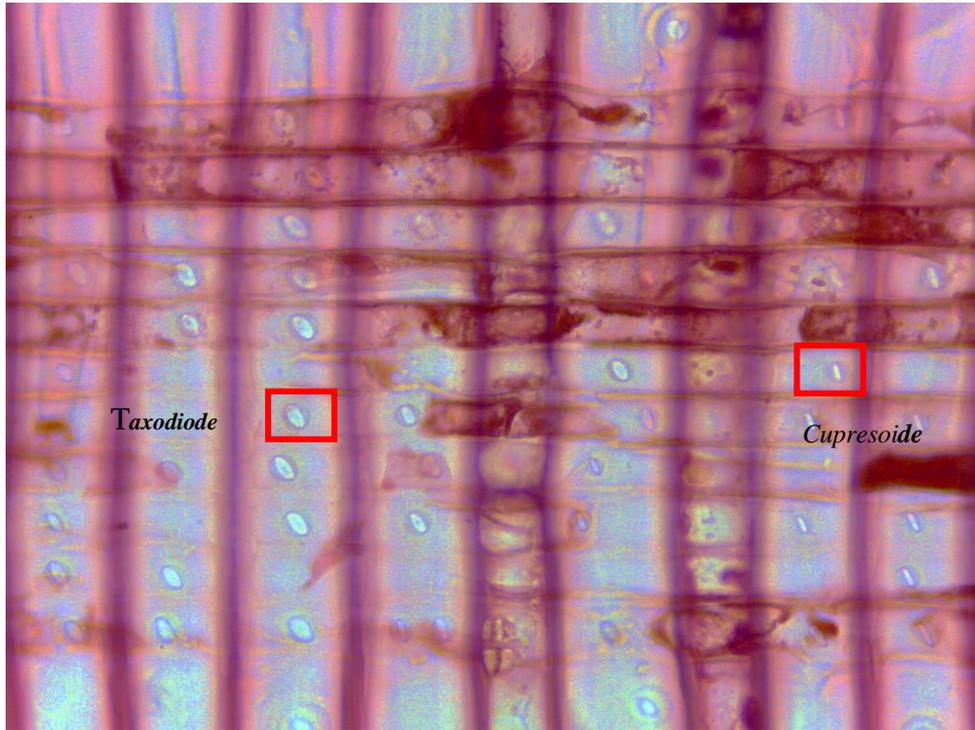
ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS.

<i>Árbol</i>	<i>Altura comercial (m)</i>	<i>Altura total (m)</i>	<i>DAP (cm)</i>	<i>Clase diamétrica (cm)</i>
1	15	19	19	15 - 20
2	20	26	23	20 - 25
3	18	25	26,8	25 - 30
4	20	28	27	25 -30
5	25	31	32	30 - 35

ANEXO 2

PUNTUACIONES EN EL CAMPO DE ENTRECruzAMIENTO



ANEXO 3

CLASIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS SEGÚN ARÓSTEGUI (1982)

Grupo	Propiedades Físicas		Clasificación
	Densidad Básica	Contracción volumétrica (%)	
I	< 0,3	< 7	Muy baja
II	0,3 - 0,4	7,0 - 10,0	Baja
III	0,41 - 0,6	10,1 - 13	Media
IV	0,61 - 0,75	13,1 - 15	Alta
V	> 0,75	> 15	Muy alta

ANEXO 5

CLASIFICACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN SEGÚN RUBIO (2002)

CV%	Grado de variabilidad
$0 < CV < 10$	Datos muy homogéneos
$10 \leq CV < 15$	Datos regularmente homogéneos
$15 \leq CV < 20$	Datos regularmente variables
$20 \leq CV < 25$	Datos variables
$CV \geq 25$	Datos muy variables

ANEXO 6

CLASIFICACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN SEGÚN CALZADA (1982)

<i>Valores de r</i>	<i>Clasificación</i>
0,2 - 0,3	Muy bajo
0,4 - 0,5	Bajo
0,6 - 0,7	Alto
0,8 - 1,0	Muy alto

ANEXO 7

VALORES PROMEDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS POR ÁRBOL

ARBOL	NIVEL	TRAQUEIDAS				RADIOS				
		Longitud (μm)	Diámetro Total (μm)	Espesor Pared (μm)	Diámetro Lumen (μm)	Altura (μm)	Ancho (μm)	Número de células		Número por mm
								Altura	Ancho	
1	Basal	5153	47	4,8	36,9	171	12	9	1	7
	Medio	4481	41	4,0	32,6	167	13	9	1	6
	Apical	4591	46	4,2	38,1	156	11	9	1	8
	Prom.	4742	45	4,3	35,9	165	12	9	1	7
2	Basal	5004	42	4,4	33,4	186	12	9	1	7
	Medio	5343	49	4,6	39,7	147	13	8	1	7
	Apical	5076	43	3,9	35,2	171	12	8	1	7
	Prom.	5141	45	4,3	36,1	168	12	8	1	7
3	Basal	4285	42	3,7	34,5	166	12	9	1	8
	Medio	5158	46	4,1	37,6	141	12	7	1	7
	Apical	4798	44	4,1	35,8	156	11	8	1	7
	Prom.	4747	44	4,0	36,0	154	11	8	1	7
4	Basal	5230	40	4,1	31,6	158	10	8	1	7
	Medio	4804	44	3,7	36,5	141	11	7	1	6
	Apical	4356	45	3,1	38,6	155	11	8	1	7
	Prom.	4797	43	3,6	35,6	151	11	8	1	7
5	Basal	4878	43	3,9	35,2	160	10	9	1	7
	Medio	5336	47	3,9	39,5	146	10	8	1	7
	Apical	4065	43	3,7	36,0	130	10	7	1	8
	Prom.	4760	45	3,8	36,9	145	10	8	1	7

ANEXO 8

PRUEBA DE TUKEY EN LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS

<i>Características anatómicas</i>		<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>	<i>Prueba de Tukey</i>
<i>Ancho de radios - Árboles</i>	5	10.00	3.00	0.31	A
	4	10.67	3.00	0.31	A B
	3	11.67	3.00	0.31	B C
	1	12.00	3.00	0.31	B C
	2	12.33	3.00	0.31	C
<i>Altura de radios - Niveles</i>	<i>Medio</i>	148.40	5.00	4.40	A
	<i>Apical</i>	153.60	5.00	4.40	A B
	<i>Basal</i>	168.20	5.00	4.40	B

ANEXO 9

VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD POR ÁRBOL.

ARBOL	Nivel	CH % saturado	CH% seco al aire	Do	Db
1	Basal	70,24	14,73	0,323	0,297
	Medio	155,01	14,71	0,415	0,378
	Apical	99,58	15,59	0,364	0,332
	PROMEDIO	108,28	15,01	0,367	0,336
2	Basal	129,97	15,09	0,408	0,364
	Medio	162,62	15,36	0,396	0,356
	Apical	126,63	14,98	0,394	0,355
	PROMEDIO	139,74	15,14	0,400	0,359
3	Basal	147,44	14,99	0,411	0,367
	Medio	168,95	14,51	0,419	0,374
	Apical	139,03	14,13	0,392	0,356
	PROMEDIO	151,81	14,54	0,408	0,366
4	Basal	90,88	14,03	0,392	0,362
	Medio	95,84	14,70	0,379	0,345
	Apical	116,82	14,30	0,434	0,403
	PROMEDIO	101,18	14,34	0,402	0,370
5	Basal	123,25	15,47	0,364	0,331
	Medio	107,85	15,17	0,340	0,311
	Apical	71,38	15,11	0,317	0,295
	PROMEDIO	100,82	15,25	0,340	0,313

ANEXO 10

VALORES PROMEDIO DE CONTRACCIONES TOTALES POR ÁRBOL Y NIVEL

ARBOL	Nivel	Contracciones totales				T/R
		CVT	CTT	CRT	CLT	
1	<i>Basal</i>	7,87	5,91	2,66	0,32	2,35
	<i>Medio</i>	8,91	5,68	2,24	0,55	2,58
	<i>Apical</i>	8,71	5,82	3,00	0,23	1,98
	<i>PROMEDIO</i>	8,50	5,80	2,63	0,37	2,30
2	<i>Basal</i>	10,59	6,98	3,82	0,25	1,83
	<i>Medio</i>	10,10	6,68	3,27	0,22	2,08
	<i>Apical</i>	9,94	6,42	3,39	0,19	1,91
	<i>PROMEDIO</i>	10,21	6,69	3,49	0,22	1,94
3	<i>Basal</i>	10,77	7,06	3,45	0,17	2,07
	<i>Medio</i>	10,76	7,09	3,36	0,20	2,13
	<i>Apical</i>	9,15	6,13	2,79	0,28	2,21
	<i>PROMEDIO</i>	10,23	6,76	3,20	0,22	2,14
4	<i>Basal</i>	7,85	5,18	2,24	0,68	2,32
	<i>Medio</i>	8,99	5,84	2,88	0,17	2,10
	<i>Apical</i>	7,06	4,32	2,47	0,80	1,97
	<i>PROMEDIO</i>	7,97	5,11	2,53	0,55	2,13
5	<i>Basal</i>	9,05	6,07	3,00	0,19	2,03
	<i>Medio</i>	8,46	5,96	2,45	0,21	2,45
	<i>Apical</i>	6,87	4,58	2,60	0,29	1,84
	<i>PROMEDIO</i>	8,12	5,54	2,69	0,23	2,10

ANEXO 11

VALORES PROMEDIOS DE CONTRACCIONES PARCIALES POR ÁRBOL Y NIVEL

ARBOL	Nivel	<i>Contracción parcial (Saturado -seco al aire)</i>			
		<i>CVP</i>	<i>CTP</i>	<i>CRP</i>	<i>CLP</i>
1	Basal	3,73	2,93	1,22	0,17
	Medio	4,34	2,40	0,84	0,24
	Apical	3,49	2,54	1,00	0,09
	PROMEDIO	3,85	2,62	1,02	0,17
2	Basal	5,12	3,22	1,60	0,13
	Medio	4,32	3,03	1,25	0,09
	Apical	4,18	2,92	1,33	0,08
	PROMEDIO	4,54	3,06	1,40	0,10
3	Basal	4,55	3,27	1,39	0,09
	Medio	4,59	3,09	1,25	0,06
	Apical	3,84	2,80	1,08	0,12
	PROMEDIO	4,33	3,05	1,24	0,09
4	Basal	3,37	2,57	0,94	0,26
	Medio	3,47	2,49	1,01	0,07
	Apical	3,29	1,84	0,83	0,29
	PROMEDIO	3,38	2,30	0,93	0,21
5	Basal	3,33	2,49	1,03	0,08
	Medio	3,18	2,50	0,83	0,09
	Apical	2,26	1,66	0,94	0,14
	PROMEDIO	2,92	2,21	0,93	0,10

ANEXO 12

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA PARCIAL REAL Y TEÓRICO.

ARBOLES	Niveles	CH % saturado	CH% seco al aire	CVTotal	CVP REAL	PSF	CVP TEORICO
1	Basal	70,24	14,73	7,87	3,73	30	4,01
	Medio	155,01	14,71	8,91	4,34	30	4,54
	Apical	99,58	15,59	8,71	3,49	30	4,18
	PROMEDIO	108,28	15,01	8,50	3,85	30	4,25
2	Basal	129,97	15,09	10,59	5,12	30	5,27
	Medio	162,62	15,36	10,11	4,32	30	4,94
	Apical	126,63	14,98	9,94	4,18	30	4,97
	PROMEDIO	139,74	15,14	10,21	4,54	30	5,06
3	Basal	147,44	14,99	10,77	4,55	30	5,39
	Medio	168,95	14,51	10,76	4,59	30	5,55
	Apical	139,03	14,13	9,15	3,84	30	4,84
	PROMEDIO	151,81	14,54	10,23	4,33	30	5,27
4	Basal	90,88	14,03	7,85	3,37	30	4,18
	Medio	95,84	14,70	8,99	3,47	30	4,58
	Apical	116,82	14,30	7,06	3,29	30	3,70
	PROMEDIO	101,18	14,34	7,97	3,38	30	4,16
5	Basal	123,25	15,47	9,05	3,33	30	4,38
	Medio	107,85	15,17	8,46	3,18	30	4,18
	Apical	71,38	15,11	6,87	2,26	30	3,41
	PROMEDIO	100,82	15,25	8,12	2,92	30	3,99

ANEXO 13

PRUEBA T STUDENT PARA LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA PARCIAL.

H_0 : No existe diferencias entre medias de CVP real y teórico

H_1 : Existen diferencias significativas entre medias

	<i>CVP Real</i>	<i>CVP Teórico</i>
<i>Media</i>	3,80	4,54
<i>Varianza</i>	0,52	0,39
<i>Observaciones</i>	15	15
<i>Coefficiente de correlación de Pearson</i>	0,884	
<i>Grados de libertad</i>	14	
<i>Estadístico t</i>	-8,502	
<i>P(T<=t) dos colas</i>	0,000001	
<i>Valor crítico de t (dos colas)</i>	2,145	

ANEXO 14
PRUEBA DE TUKEY EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS.

<i>Propiedades físicas</i>		<i>Medias</i>	<i>n</i>	<i>E.E.</i>	<i>Prueba de Tukey</i>		
Contracción volumétrica total - árboles	4	7,97	3	0,39	A		
	5	8,13	3	0,39	A		
	1	8,50	3	0,39	A	B	
	2	10,21	3	0,39		B	
	3	10,23	3	0,39		B	
Contracción tangencial total - árboles	4	5,11	3	0,23	A		
	5	5,54	3	0,23	A	B	
	1	5,80	3	0,23	A	B	
	2	6,69	3	0,23		B	
	3	7,20	3	0,23		B	
Contracción tangencial total - niveles	3	5,45	5	0,18	A		
	2	6,25	5	0,18	A	B	
	1	6,50	5	0,18		B	
Contracción radial total - árboles	4	2,53	3	0,2	A		
	1	2,63	3	0,2	A		
	5	2,68	3	0,2	A		
	3	3,20	3	0,2	A		
	2	3,49	3	0,2	A		
Contracción volumétrica parcial - árboles	5	2,92	3	0,18	A		
	4	3,38	3	0,18	A	B	
	1	3,85	3	0,18		B	C
	3	4,33	3	0,18			C
	2	4,54	3	0,18			C
Contracción volumétrica parcial - niveles	3	3,41	5	0,14	A		
	2	3,98	5	0,14		B	
	1	4,02	5	0,14		B	
Contracción tangencial parcial - árboles	5	2,22	3	0,12	A		
	4	2,3	3	0,12	A		
	1	2,62	3	0,12	A	B	
	3	3,05	3	0,12		B	
	2	3,06	3	0,12		B	
Contracción tangencial parcial - niveles	3	2,35	5	0,09	A		
	2	2,70	5	0,09	A	B	
	1	2,90	5	0,09		B	
Contracción radial parcial - árboles	4	0,93	3	0,06	A		
	5	0,93	3	0,06	A		
	1	1,02	3	0,06	A		
	3	1,24	3	0,06	A	B	
	2	1,39	3	0,06		B	

