

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
ULCUMANO (*Retrophyllum rospigliosi*)
PROCEDENTE DE UNA PLANTACIÓN DE
32 AÑOS DE EDAD ASOCIADO A
CULTIVO DE CAFÉ, EN VILLA RICA –
PERÚ**

Presentado por:

Haru Angelina García Meza

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

Lima - Perú
2016

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. HARU ANGELINA GARCÍA MEZA, intitulado “PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ULCUMANO (*RETROPHYLLUM ROSPIGLIOSII*) PROCEDENTE DE UNA PLANTACIÓN DE 32 AÑOS DE EDAD ASOCIADO A CULTIVO DE 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, 16 de diciembre de 2016

.....
Mg. Sc. Meléndez Cárdenas Miguel
Presidente

.....
Mg. Sc. Chavesta Custodio Manuel
Miembro

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

.....
Mg. Sc. Acevedo Mallque Moisés
Asesor

DEDICATORIA

A mis papás Pablo y Gladys.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria por la oportunidad y el financiamiento para poder realizar un tema de investigación; así como a la EEA INIA Pichanaki por el apoyo durante los días de trabajo en campo. Además a la Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario – Área Forestal INIA.

Al Ingeniero Auberto Ricse, por sus valiosos consejos durante la ejecución de la tesis, las largas charlas, y sobre todo por la oportunidad brindada.

Al profesor Moisés Acevedo por la orientación en todo el proceso de la investigación, su paciencia e incondicional apoyo.

A mi papá por su apoyo absoluto siempre, por ser mi ejemplo como profesional y persona a seguir, y mi mamá por estar siempre a mi lado empujándome a seguir luchando por lo que quiero.

A mis hermanos Andrea, Glaucia y Pablo además de Oliver y Zilka; que de muchas formas han contribuido en la culminación de la tesis.

A mis compañeros forestales y sobre todo amigos: Yanett, Fiorella, Juan Pablo, Rudy, Juan Carlos, Gerson, Lesly, Andrea R., Julio R, por estar prestos a apoyarme y acompañarme largas horas en laboratorio, sobre todo con la Tinius Olsen con el famoso “listo, ya!”, y además por el apoyo demostrado de muchas maneras.

Al profesor Rolando Montenegro por sus consejos en la parte estadística; al Sr. Vicente Cuba, por su disposición y ayuda durante toda la fase de laboratorio de la tesis. Al señor Eduardo González por la dedicación durante la elaboración de las probetas, tanto en Oxapampa como en Lima.

Al departamento de Industrias de la Facultad de Ciencias Forestales.

Finalmente a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron en la realización y término de esta investigación.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúan las propiedades mecánicas de la madera de *Retrophyllum rospigliosii*, procedente de una plantación de 32 años de edad bajo un sistema agroforestal con café, en Villa Rica, Pasco; con el fin de identificar su aptitud de uso. Las probetas y los ensayos fueron realizados según lo estipulado en las Normas Técnicas Peruanas para cada propiedad mecánica. Se obtuvieron promedios, rangos, coeficientes de variación para las propiedades mecánicas; además se determinó si existía diferencias entre los niveles de corte (basal, medio y apical) en el árbol. Se realizó análisis de regresión entre densidad básica y cada propiedad mecánica. La clasificación de la madera se determinó según sus valores promedios obtenidos, además se comparó con valores de la misma especie procedente de bosque natural y posteriormente se proponen usos en base a comparaciones con especies de densidades básicas similares. Los resultados obtenidos muestran que solo flexión estática (ELP y MOR) presenta diferencia significativa en cuanto a los niveles de corte. De acuerdo a los coeficientes de variación, los esfuerzos de flexión estática (MOE), compresión paralela (ELP y MOE), tensión perpendicular (radial) y tenacidad presentan alta variabilidad. Las ecuaciones de regresión demuestran que la densidad básica es un buen estimador para predecir solo la resistencia a la dureza (lado radial y extremos). Los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de ulcumano al ser comparadas con valores provenientes de bosque natural resultaron menores, a excepción de compresión perpendicular y cizallamiento. Por lo que se puede considerar como una madera de baja resistencia mecánica. Finalmente los usos que se recomiendan son: carpintería de obra, muebles y ebanistería, trabajos de carpintería, mangos de herramientas y artículos deportivos, instrumentos científicos y profesionales, cajonería, laminado y como material para pulpa.

Palabras claves: Propiedades mecánicas; *Retrophyllum rospigliosii*; ulcumano; sistema agroforestal; resistencia; ensayos.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Características de la especie	3
1.1. Clasificación taxonómica.....	3
1.2. Descripción botánica.....	3
1.3. Distribución y hábitat.....	5
1.4. Silvicultura.....	6
1.4.1. Sistema agroforestal ulcumano y café	6
1.5. Descripción de la madera.	6
1.5.1. Propiedades físicas y mecánicas.....	7
1.5.2. Secado y durabilidad natural	9
1.5.3. Usos de la madera.....	9
1.5.4. Clasificación de la madera según sus propiedades físicas y mecánicas.	9
2. Efectos de los árboles en sistemas agroforestales.....	11
3. Propiedades mecánicas	11
4. Factores que afectan la resistencia mecánica.	13
4.1. Densidad y peso específico.	14
4.2. Defectos en la madera.	14
4.3. Madera juvenil	15
4.4. Madera de reacción	16
5. Variabilidad de la madera.	16
5.1. Variabilidad dentro del árbol.....	17
5.2. Variabilidad entre árboles de la misma especie.	18
III. Materiales y Métodos.....	19
1. Materiales.....	19
1.1. Lugar de ejecución de los ensayos.	19
1.2. Especie.....	19
1.3. Materiales.....	19
1.3.1. De campo.....	19
1.3.2. De laboratorio.....	20
1.4. Equipos.....	20
1.4.1. De campo.....	20
1.4.2. De laboratorio.....	21
2. Metodología	21
2.1. Descripción de la zona de estudio.....	21
2.2. Colección y selección de muestras.	22
2.3. Procesamiento de trozas y preparación de las probetas.....	24
2.4. Evaluación de las propiedades mecánicas por niveles.....	27
2.5. Procesamiento de datos y evaluación de resultados.....	30
IV. Resultados y discusión.....	31
1. Propiedades mecánicas	31
2. Comparación de las propiedades mecánicas de la especie en estudio con madera de bosque natural.....	39
3. Clasificación de la especie en estudio.	41
4. Aptitud de uso.....	41

V. Conclusiones	45
VI. Recomendaciones	47
VII. Referencias bibliográficas	49
VIII. Anexos	54

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Propiedades Físicas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	7
Tabla 2: Propiedades Mecánicas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	8
Tabla 3: Clasificación de las maderas peruanas según sus propiedades físicas y mecánicas en condición verde.	10
Tabla 4: Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición verde	10
Tabla 5: Información de la plantación de donde se seleccionaron los árboles en estudio.....	22
Tabla 6: Características dasométricas de los árboles de ulcumano seleccionados para el estudio.....	22
Tabla 7: Número de probetas para los ensayos mecánicos de la especie estudiada	26
Tabla 8: Normas Técnicas Peruanas utilizadas en los ensayos físicos y mecánicos	28
Tabla 9: Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo a 3 niveles de corte del ulcumano	32
Tabla 10: Análisis de varianza a nivel longitudinal en 3 niveles de corte	34
Tabla 11: Coeficientes de variabilidad de las propiedades mecánicas entre, dentro y totales comparados según Wood Handbook	36
Tabla 12: Propiedades mecánicas de la especie ulcumano procedente de una plantación de 32 años	37
Tabla 13: Coeficiente de determinación, coeficientes de correlación y Ecuación de regresión lineal entre Densidad Básica y las propiedades mecánicas de ulcumano	38
Tabla 14: Comparación de las propiedades mecánicas del ulcumano con distintas procedencias	39
Tabla 15: Clasificación de las propiedades mecánicas de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> a la edad de 32 años	41
Tabla 16: Comparación de las propiedades mecánicas de la especie en estudio con otras especies coníferas de densidad similar	42
Tabla 17: Usos del ulcumano de otras coníferas de similar densidad.....	43

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Árbol de ulcumano en la plantación de 32 años.....	4
Figura 2: Descripción botánica de <i>Retrophyllum rospigliosii</i> . A. Ramita terminal con fruto. B. Ampliación de la disposición de las hojas.	5
Figura 3: Mapa de ubicación de la plantación zonificada y ubicación de los árboles	23
Figura 4: Trozado de árboles seleccionados en la plantación.....	24
Figura 5: Listones de 5 x 5 cm apilados para la elaboración de las probetas.....	25
Figura 6: Codificación de probetas de compresión paralela, compresión perpendicular, dureza.....	25
Figura 7: Ubicación de los niveles de corte estudiados longitudinalmente en el árbol	29
Figura 8: Comparación de los valores promedios de las propiedades mecánicas en 3 niveles de corte del ulcumano de una plantación de 32 años.....	33
Figura 9: Comparación de las propiedades mecánicas del ulcumano procedente de una plantación de 32 años y bosque natural, en condición verde	40

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Constancia de identificación de la especie.....	54
Anexo 2 Análisis de regresión lineal en flexión estática.....	55
Anexo 3 Análisis de regresión lineal en compresión paralela.....	58
Anexo 4 Análisis de regresión lineal en compresión perpendicular.....	61
Anexo 5 Análisis de regresión lineal en dureza.....	62
Anexo 6 Análisis de regresión lineal en tenacidad.....	64
Anexo 7 Análisis de varianza de las propiedades mecánicas para la especie (5 árboles).....	65
Anexo 8 Fotografías de las probetas utilizadas en los ensayos de propiedades mecánicas.....	66

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un interés creciente en el aprovechamiento de la madera procedente de plantaciones agroforestales, en los cuales los árboles de sombra representan una estrategia de producción para un desarrollo sostenible y como una fuente de ingresos importante para el productor.

Estos sistemas agroforestales poseen múltiples valores, en donde los beneficios que brinda la especie arbórea no solo se obtienen de la parte maderable, sino además es fuente de otros bienes como fijadoras de nitrógeno, fuente de alimento y refugio de animales, eficiencia en la utilización de nutrientes, agua y luz, usos medicinales, combustible, entre otros; logrando establecer una relación de complementariedad, alcanzando ser un sistema económica y ecológicamente rentable y sostenible.

Por ello, en estas condiciones existe la interrogante sobre la calidad de la madera formada, ya que los estudios realizados hasta la fecha han evaluado sólo una pequeña fracción de las especies maderables utilizadas como sombra en los sistemas agroforestales cafetaleros, por lo que urgen estudios que aporten mayor información sobre el aprovechamiento de la madera de otras especies, como es el caso del ulcumano, porque el conocimiento de sus características representaría una base tecnológica para un adecuado aprovechamiento.

Por lo expuesto, los objetivos del presente trabajo fueron determinar las propiedades mecánicas de la madera de ulcumano proveniente de una plantación asociada a un cafetal en una finca ubicada en Villa Rica - Pasco; para comparar sus propiedades y aptitudes de uso con madera procedente del bosque natural.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

1.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según TROPICOS (2015):

- Clase :Equisetopsida C. Agardh
- Subclase :Pinidae Cronquist, Takht. & W. Zimm.
- Orden :Podocarpaceales Pulle ex Reveal
- Familia :PODOCARPACEAE
- Género :*Retrophyllum*
- Especie :*Rospigliosii*
- Nombre común :“ulcumano”, “Romerillo macho”
- Nombre científico : *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page
- Sinónimos :*Podocarpus rospigliosii* Pilger, *Decussocarpus rospigliosii* (Pilger) Laubenfels, *Nageia rospigliosii* (Pilger) Laubenfels.

1.2. DESCRPCIÓN BOTÁNICA

Reynel *et al.* (2006), describe al ulcumano como un árbol grande y dominante, de 50-180 cm de diámetro y 30-45 m de altura, presenta el 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 o subleñoso, quebradizo, que se desprende en placas rectangulares o irregulares. Además su corteza interna es fibrosa, de color blanquecino. (Figura 1)

La especie ulcumano se reconoce por sus hojas pequeñas y elípticas, dispuestas en dos hileras a lo longitud de las ramitas. Presenta ramitas terminales con sección circular o

poligonal, longitudinalmente estriadas entre las inserciones de las hojas, glabras. Sus hojas son simples, sésiles, espiralmente insertadas, 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 la 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. La especie es dioica; estróbilos solitarios o agrupados en brotes cortos en las ramitas. Las 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. Los frutos conos drupáceos, carnosos, ovoides a subglobosos, apiculados, con el receptáculo terete. (Figura 2)

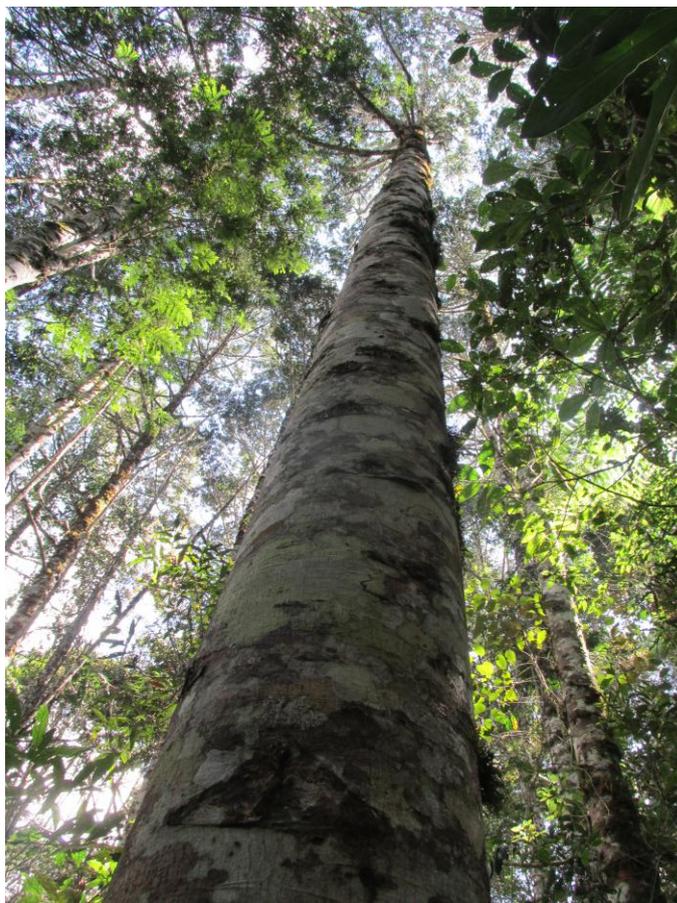


Figura 1: **Árbol de ulcumano en la plantación de 32 años**

FUENTE: Elaboración propia

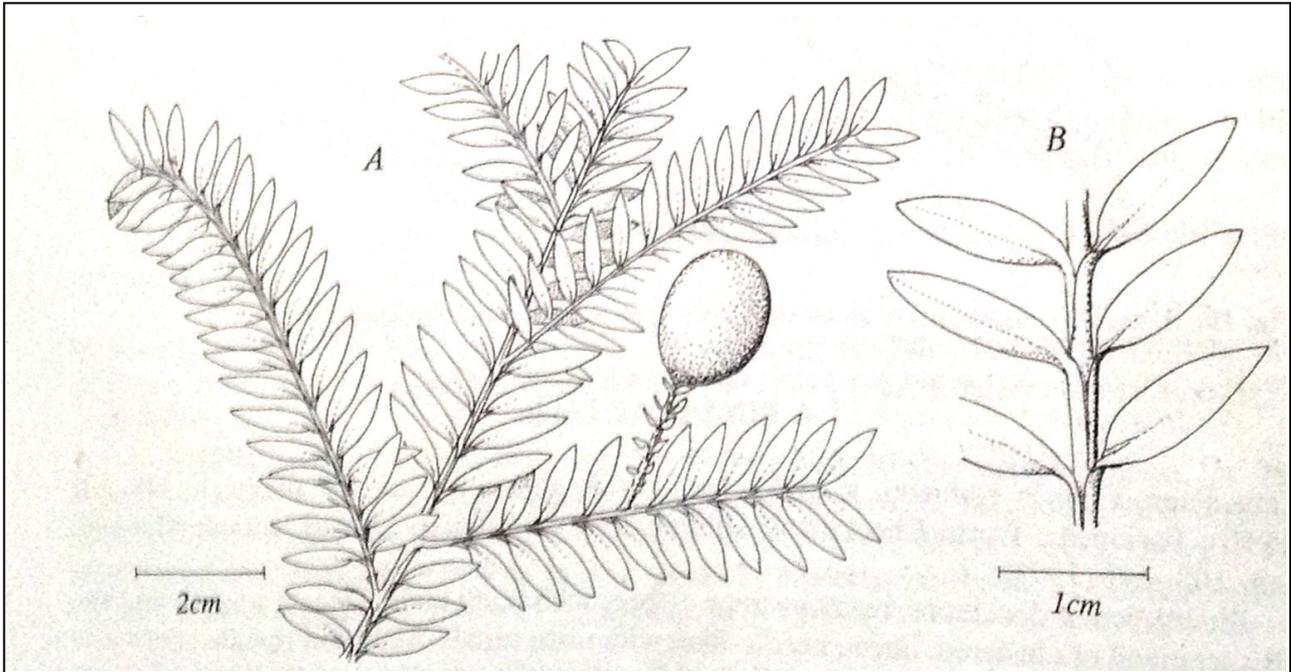


Figura 2: Descripción botánica de *Retrophyllum rospigliosii*. A. Ramita terminal con fruto. B. Ampliación de la disposición de las hojas.

FUENTE: Pennington et al. (2004)

1.3. DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Weberbauer, citado por Amaya (1985), reporta que el podocarpus, único género presente en el Perú de la clase de las coníferas, habita en las montañas de la ceja de la vertiente oriental y occidental de los Andes y en el Norte.

Holdridge, citado por Zevallos (1988), indica que el Podocarpus se encuentra ubicado dentro de su clasificación entre el bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh – MBT) y el bosque húmedo Montano Bajo Sub-Tropical (bh-MBST), de esta forma estas formaciones ecológicas colindan en diferentes lugares de la ceja de selva, en el norte, centro y sur del Perú, pero con densidades diferentes.

Además, Reynel (2006) y Laubenfels (1991), mencionan que la especie *Retrophyllum rospigliosii* se distribuye en el Perú en la ecoregión de la Ceja de Selva de bosques maduros, montanos nublados o húmedos, entre los 1500 a 1400 msnm. Su distribución es relativamente amplia reportado en los departamentos de Cajamarca, Pasco y Junín principalmente. Así mismo esta especie se encuentra formando bosques considerables, pero aislados desde el centro del Perú hasta el oeste de Venezuela.

Reynel y León (2006), agrega que la Selva Central (Valle de Chanchamayo, Bosque Pichita APRODES) y Oxapampa (cerca al parque Yanachaga Chemillén) son considerados como lugares con potencial semillero.

1.4. SILVICULTURA

Reynel *et al.* (2006), indica que las semillas de la especie *Retrophyllum rospigliosii* se recolectan directamente del árbol cuando presentan color azul claro, eliminando manualmente las impurezas. Luego se secan de 2 – 3 horas diarias bajo el sol durante 3 días quedando listas para ser sembradas. Las semillas se siembran en almácigos y requieren abundante humedad para germinar; se deben cubrir las camas de almácigo con un tinglado impermeable de plástico a 30 cm de altura hasta que germinen las semillas.

Palomino *et al.*, citado por Reynel y León (1990), señala que se observa mejor desarrollo en plantaciones en suelos ácidos a fuertemente ácidos. Además, recomienda establecer las plantaciones como fajas de enriquecimiento en bosques alterados. Los incrementos anuales medios de altura de las plantas fueron de hasta 80 cm bajo esta modalidad.

1.4.1. SISTEMA AGROFORESTAL ULCUMANO Y CAFÉ.

Brack *et al.* (1989), reporta experiencias desarrolladas por el Proyecto Peruano Alemán Desarrollo Forestal y Agroforestal en Selva Central, mencionando el caso de una plantación de ulcumano de 7 años con una altura de 11 metros, y un distanciamiento de 10 x 10 m, plantados junto con café de 15 años (variedad caturra), el cual le proporciona sombra buena y no se observa efectos negativos sobre la plantación y la producción del cafeto.

Carneiro (2004), señala que el éxito de una plantación dependerá en gran parte de las características climáticas locales y del manejo de la agricultura del café. Por lo tanto, las experiencias de una región, en la mayoría de las veces, no pueden ser aplicadas exactamente de la misma forma en otros lugares. Así, la elección de la especie, el manejo y la densidad son factores cruciales para la obtención de niveles adecuado de productividad.

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA MADERA.

En condición seca al aire, no hay diferencia entre albura y duramen, son de color marrón amarillento. Anillos de crecimiento diferenciados por bandas claras de forma regular. Grano recto, textura fina y brillo medio. Veteado, arcos superpuestos y bandas paralelas. Madera con peso específico básico de 0.41 y susceptible al ataque de insectos (Acevedo y Kikata 1994).

Según Dallimore, citado por Aróstegui y Sato (1968), la madera es durable, de buen acabado, acepta bien la pintura, el barniz y la creosota.

1.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Aróstegui y Sato (1968), determinó las propiedades físicas y mecánicas de madera de ulcumano procedente de Cajamarca, de acuerdo a las normas de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), las cuales se presentan en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1: Propiedades Físicas de *Retrophyllum rospigliosii*

Propiedades Físicas	Unidades	Procedencia	
		Cajamarca	Mérida, Venezuela
Peso específico			
Peso seco/volumen seco	g/cm ³	0.43	0.45
Peso seco/volumen verde (*)		0.41	0.40
Contracción			
Radial (R)	%	3.61	4.40
Tangencial (T)		7.27	7.30
Relación (T/R)		2.01	1.66

(*) CH = 27.5 %

FUENTE: Aróstegui y Sato (1968)

Tabla 2: Propiedades Mecánicas de *Retrophyllum rospigliosii*

Propiedades Mecánicas	Unidades	Procedencia		
		Cajamarca (2)		Mérida, Venezuela (1)
		Contenido de humedad (%)	Promedios	
Flexión estática				
Esfuerzo de las fibras lim. Prop.	kg/cm ²	27	253	203
Módulo de ruptura	kg/cm ²		493	375
Módulo de elasticidad	kg/cm ²		84,000	81,000
Compresión paralela al grano				
Esfuerzo a las fibras lim. Prop.	kg/cm ²	24	154	142
Resistencia max. a la compresión	kg/cm ²		240	185
Módulo de elasticidad	kg/cm ²		88,500	97,000
Dureza				
Extremos	kg/cm ²	25	340	191
Lados	kg/cm ²		225	158
Compresión perpendicular al lim. Prop.	kg/cm ²	22	30	24
Cizallamiento	kg/cm ²	20	62	53
Tensión Perpendicular al grano	kg/cm ²	20	22	13
Clivaje	kg/cm	22	26	21
Tenacidad	kg-m	-	1.55	1.82

FUENTE: Aróstegui y Sato (1968)

(1) Datos obtenidos con madera en condición saturada.

(2) Propiedades mecánicas de madera seca al aire, de acuerdo a las normas de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM).

1.5.2. SECADO Y DURABILIDAD NATURAL.

Aróstegui y Sato (1968), señala que cuando la madera de *Retrophyllum rospigliosii* es secada al aire presenta el defecto de grietas y rajaduras según la dirección de los radios. Respecto a la durabilidad natural, indica que esta especie es susceptible al ataque de hongos que producen la mancha azul.

1.5.3. USOS DE LA MADERA.

Veillon, citado por Aróstegui y Sato (1968), menciona que de acuerdo a los requisitos que deben reunir las maderas según sus usos, el ulcumano puede utilizarse en muebles y ebanistería; construcción estructural; obras de interiores; trabajos de carpintería; cajonería; la parte terminal del fuste convenientemente tratada en postes de cercos; juguetería y como materia prima para la fabricación de pulpa para papel.

1.5.4. CLASIFICACIÓN DE LA MADERA SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.

Aróstegui (1982), señala que esta clasificación de la madera mostrada en la Tabla 3 permite orientar los usos más convenientes, de acuerdo a los requisitos mínimos que una madera debe reunir para un uso determinado. Además en la Tabla 4 se presenta la clasificación según Dávalos y Bárcenas (1998), citados por Pantigoso (2009), para maderas mexicanas en condición verde.

Tabla 3: Clasificación de las maderas peruanas según sus propiedades físicas y mecánicas en condición verde.

GRUPO	PROPIEDADES FÍSICAS		PROPIEDADES MECÁNICAS (Kg/cm ²)					CLASIFICACIÓN
	Densidad Básica (g/cm ³)	Contracción Volumétrica (%)	Flexión Estática (MOR)	Compresión paralela (RM)	Compresión Perpendicular (ELP)	Dureza Lados	Cizallamiento	
I	< 0.30	< 7	< 300	< 120	< 10	< 100	< 30	Muy mala
II	0.30 - 0.40	7 - 10	300 - 500	120 - 240	10 - 40	100 - 300	30 - 60	Baja
III	0.41 - 0.60	10.1 - 13	501 - 800	241 - 360	41 - 70	301 - 600	61 - 90	Media
IV	0.61 - 0.75	13.1 - 15	801 - 1000	361 - 480	71 - 100	601 - 900	91 - 120	Alta
V	> 0.75	> 15	> 1000	> 480	> 100	> 900	> 120	Muy Alta

FUENTE: Aróstegui (1982)

Tabla 4: Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición verde

Flexión Estática		Compresión Paralela	Compresión perpendicular	Cizallamiento /kg/cm ²	Dureza		Clasificación
MOR (kg/cm ²)	MOE (t/cm ²)	RM (kg/cm ²)	ELP (kg/cm ²)		Lateral (kg)	Extremos (kg)	
< 290	< 55	< 160	< 15	< 45	< 130	< 150	Muy Bajo
291 - 500	56 - 80	161 - 250	16 - 35	46 - 65	131 - 275	151 - 300	Bajo
501 - 650	81 - 100	251 - 310	36 - 50	66 - 85	276 - 400	301 - 430	Medio
651 - 900	101 - 125	311 - 400	51 - 85	86 - 110	401 - 620	431 - 650	Alto
> 900	> 125	> 400	> 85	> 110	> 620	> 650	Muy Alto

FUENTE: Dávalos y Bárcenas, citados por Pantigoso (2009)

2. EFECTOS DE LOS ÁRBOLES EN SISTEMAS AGROFORESTALES.

Hart, citado por Arcos (1994), define a un sistema agroforestal como un sistema agropecuario en los cuales los componentes son los árboles, cultivos o animales, lo cual tiene los atributos de límites, componentes, interacciones, ingresos y egresos, una jerarquía y una dinámica. Así mismo, Reynel y León (1990) señala, que esta integración genera incremento en los rendimientos agropecuarios, por las siguientes razones: la presencia de especies leñosas en la zona mejora el microclima, mejorando la producción; las especies leñosas mejoran las propiedades del suelo y fertilidad; mejora la disponibilidad de agua y humedad; y protege, conserva y recupera el suelo.

La asociación árboles y café es un ejemplo de práctica agroforestal. Gallina y Perfecto *et al.*, citado por Carhuallanqui (2003), mencionan que un aspecto importante en la elección del sistema de producción de café, es el efecto que pueden tener sobre los agroecosistemas, existiendo una serie de elementos que apoyan la idea según la cual el sistema tradicional de cultivo de café tiene mayor estabilidad ecológica que un monocultivo.

Según Muchler, citado por Carneiro (2004), el efecto de los árboles en un sistema agroforestal con café puede ser regulado de tres maneras: por el espaciamiento de los árboles y su distribución espacial, por la poda y por la selección de las especies a ser utilizadas. Finalmente Beer, citado por Carhuallanqui (2003), indica que la hojarasca proveniente de los árboles de sombra puede contribuir a la conservación de la humedad y la fertilidad del suelo, pudiendo aportar entre 5 a 10 t/ha/año de materia orgánica, permitiendo un mayor nivel de materia orgánica en el suelo y por ende mayor capacidad de intercambio catiónico.

3. PROPIEDADES MECÁNICAS

Arroyo (1983), define las propiedades mecánicas de la madera como la expresión de su comportamiento bajo la aplicación de fuerzas o cargas, el cual va a depender del tipo de fuerza aplicada y de las diferencias básicas en la organización estructural de la madera. Así mismo, señala que existen tres tipos de esfuerzos primarios que pueden actuar sobre un cuerpo, produciendo un cambio en su forma y tamaño, conocida con el nombre de deformación. Además, el mismo autor señala que la combinación de estos esfuerzos

primarios tiene como respuesta al esfuerzo de flexión y el efecto que produce es de curvatura, flexión o pandeo.

Respecto a los valores de resistencia de la madera en general, Vignote y Martínez (2006) indica que en dirección longitudinal es relativamente muy resistente, mientras que transversalmente, su resistencia es muy pequeña. Fachin, citado por Jost (2006), menciona que las propiedades mecánicas en la madera, tanto la compresión perpendicular, el cizallamiento y como la dureza, aumentan con la altura, mientras que la compresión paralela y la flexión estática por el contrario disminuyen.

Vignote y Martínez (2006), señala que la dureza es una propiedad que indica la facilidad de penetración de un material en otro, la cual varía con la dirección de la fibra en la superficie en que actúa. La dureza axial o paralela a la fibra es, generalmente entre 1.5 a 2.5 veces la de la dirección perpendicular a la fibra, no existiendo mucha diferencia entre la dureza paralela tangencial y la radial. Además el mismo autor menciona que la dureza disminuye rápidamente al aumentar la humedad de la madera, afirmando que la dureza de la madera se encuentra en relación directa con el peso específico. Esta propiedad tiene importancia cuando su uso será para parquet. (Aróstegui 1982).

Aróstegui (1982), define la flexión estática a la resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa sobre una viga, ésta resistencia depende de varios factores tales como defectos de crecimiento (desviaciones de las fibras, nudos), densidad, contenido de humedad, temperatura y duración de la carga. Menciona el mismo autor que esta propiedad presenta tres esfuerzos, dentro de los cuales el Módulo de Ruptura (MOR) es aquel esfuerzo en el cual se produce la falla en la viga; mientras que el Módulo de Elasticidad (MOE) es un índice de la facilidad o dificultad que tienen las maderas para su deformación, siendo la regla cuanto mayor es el MOE, menor es su deformación.

En cuanto a compresión paralela al grano, el mismo autor define esta propiedad mecánica como la resistencia que ofrece la madera a una fuerza que actúa en dirección paralela a las fibras, mostrando relevancia en la construcción de columnas y puntales. La Junta del Acuerdo de Cartagena (1982), afirma que la resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción paralela. Respecto a la compresión perpendicular al grano, Aróstegui (1982) señala que es aquella resistencia que ofrece la madera a una carga que actúa en dirección perpendicular a las fibras, dicha

carga perpendicular sobre la madera puede ser ilimitada sin lograr conseguir una carga máxima bajo la cual la madera se rompa, ya que por el contrario, al comprimirse la madera disminuye su espesor, aumentando su densidad, por lo tanto se hace más apta para soportar una mayor carga.

Por otro lado, define la propiedad de cizallamiento o corte, como la resistencia que ofrece la madera a la acción de dos fuerzas paralelas, pero en dirección opuesta. Esto ocurre en la práctica en uniones de varias piezas en construcción, como en la unión de dos vigas. La Junta del Acuerdo de Cartagena (1982), menciona además, que existe una relación directamente proporcional entre la densidad y la resistencia al cizallamiento.

Finalmente, Aróstegui (1982) señala que la tenacidad o resistencia de la madera al impacto o al choque, depende de su capacidad de absorber energía y de utilizarla en su deformación. Bárcenas *et al.* (2003), señala que esta propiedad mecánica se ve afectada por las características propias del material, presentando variabilidad según tipo de madera, contenido de humedad, orientación de los anillos de crecimiento y la dirección de la fibra, entre otros. Así, Forest Products Laboratory, citado por Bárcenas (2003), menciona que la anisotropía de la madera tiene un rol considerable en esta propiedad, ya que generalmente presenta valores más altos en dirección tangencial que en radial. Por otro lado Echenique y Robles, citado por Bárcenas (2003), mencionan que la tenacidad determinada en madera libre de defectos no se ve incrementada conforme disminuye el contenido de humedad, debido a que cuando está verde, la madera absorbe mayor energía que cuando está seca, a pesar de que el valor del esfuerzo máximo sea menor. Cabe destacar que los defectos que influyen en el comportamiento de la madera a cargas de impacto son: la desviación de fibra y la presencia de hongos manchadores.

4. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA MECÁNICA.

Haygreen y Bowyer, citados por Meléndez (2011), menciona que las propiedades físicas y mecánicas están determinadas por tres características principalmente: la organización de la estructura celular que influye sobre la micro estructura de las paredes celulares y sobre la variedad y proporción de los diferentes tipos de células; la proporción de los espacios vacíos que pueden estimarse midiendo la densidad; y el contenido de humedad. De este modo, Vignote y Martínez (2006) menciona que la influencia de la humedad en los valores de resistencia mecánica varía con el esfuerzo, se puede aproximar que cuando la madera

aumenta en 1 por ciento su porcentaje de humedad, la resistencia merma entre el 1.5 por ciento y el 2 por ciento.

Arroyo (1983), afirma que las diferencias en las propiedades mecánicas, la estabilidad dimensional o la durabilidad, pueden obedecer a razones poco evidentes tales como tipos y organización de las células dentro de los anillos de crecimiento, composición y cantidades de extractivos, orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, o el espesor y la estructura de la pared secundaria. Siendo el peso específico una medida de la cantidad relativa de sustancia de la pared celular, es el mejor índice para predecir las propiedades de resistencia de la madera. La efectividad de la madera para resistir cualquier fuerza es también función de las proporciones en que se encuentran los componentes de la pared celular y también la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células.

4.1. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO.

Guzmán (1979), menciona que el peso específico es una característica compleja influenciada por diversas variables de crecimiento y rasgos fisiológicos. Además, Wellwood, citado por Guzmán (1979), reporta que el peso específico en *Pinus caribaea* es máximo en la base del árbol y mínimo en la copa; siendo no significativa la diferencia entre la sección media y la copa.

Calori y Kikuti, citados por Durán (2003), indican que la densidad básica es una de las propiedades físicas más importantes en la caracterización tecnológica de la madera para sus diversos fines, ya que la variación de la densidad básica va a afectar a la resistencia mecánica de la madera. Fachin, citado por Jost (2006), menciona que existe una disminución de la densidad básica con relación a la altura, en sentido axial del tronco. Explica además que existe una mayor contracción volumétrica en la madera de la base del tronco la cual va decreciendo significativamente con la altura.

4.2. DEFECTOS EN LA MADERA.

Arroyo (1983), señala que los defectos producto del crecimiento del árbol como los nudos, el grano inclinado y la madera de reacción disminuyen la resistencia de la madera afectando sus propiedades mecánicas. Al respecto Meléndez (2011) menciona que al estudiar las propiedades mecánicas de la madera por medio de pruebas hechas con probetas “libres de defectos”, los resultados obtenidos no reflejan la influencia sobre el comportamiento mecánico de la madera de diversas características asociadas al proceso de crecimiento de los

árboles, denominándose algunas veces a estas características como defectos siendo en realidad características orgánicas naturales. Por lo que Vignote y Martínez (2006) menciona que la realidad de una madera es la de poseer defectos, ya sea como consecuencia de las características biológicas de una especie o defectos adquiridos en los procesos de transformación. De esta manera los defectos de la madera afectan de forma diferente a las características mecánicas y por tanto a sus aplicaciones. La inclinación de la fibra afecta de forma muy importante a la resistencia a la flexión y tracción, con menor importancia a la compresión axial y apenas a la compresión perpendicular a la fibra y al esfuerzo cortante; también los nudos poseen un efecto similar a la inclinación de la fibra, ya que afectan de forma importante a la flexión y tracción y no alterando de forma apreciable la resistencia al esfuerzo cortante y a la compresión perpendicular a la fibra. Las pudriciones afectan a todos los valores de resistencia.

Al respecto, Kollman (1959), señala que la madera con nudos es más difícil de trabajar, además de producir un mal efecto visual, disminuyen la resistencia de la madera. Además, Vignote y Martínez (2006) indica que disminuye de forma notable la resistencia a los esfuerzos de tracción y flexión; influyendo de forma directa el tamaño y la posición del nudo en la pieza, siendo desfavorables los que se sitúan en el centro.

4.3. MADERA JUVENIL

Según Pardos citado por Vignote y Martínez (2006), define a la madera juvenil como aquella madera formada por los primeros anillos del árbol, que si bien no difiere en aspecto de la del resto, posee unas características de comportamiento mecánico y físico diferentes al resto de madera formada. Además, es más ligera, con traqueidas o fibras más cortas, paredes celulares más delgadas, menor contenido de celulosa, más hemicelulosa, mayor desviación de la fibra, y una proporción más alta de madera de compresión. Panshin *et al.* citado por Vásquez (2010), agrega que la madera juvenil en coníferas se caracteriza por presentar menor densidad, por lo tanto menor resistencia mecánica, y mayor contracción longitudinal originada por el mayor ángulo de depósito de las microfibrillas en la capa S2 de la pared secundaria. Así, Zhang y Gingras, citados por Jost (2006), añade que la resistencia máxima en la tracción paralela a la fibra, la resistencia al cizallamiento y a la compresión perpendicular al grano disminuyen con una proporción creciente de madera juvenil.

4.4. MADERA DE REACCIÓN

Vignote y Martínez (2006), indica que esta irregularidad de crecimiento se produce cuando existe excentricidad de la médula, producido cuando la anchura de los anillos de crecimiento se produce de forma desigual dentro de una misma capa, repitiéndose periódicamente, estando el árbol sometido a un esfuerzo predominante como viento, pendiente del terreno muy acusada, ramificación con disimetría de copa, entre otros.

Asimismo, este esfuerzo asimétrico al que está expuesto el árbol origina la formación de un tipo de fibras diferentes capaces de resistir dicha asimetría. En el caso de las coníferas, estas fibras se forman en el lado de la sección en la que actúa el esfuerzo, con células denominadas de compresión, caracterizándose por ser más pequeñas y redondeadas, con mayor espesor de la pared celular, sobre todo de la capa intermedia de gran contenido de lignina. Además la madera es más pesada, más dura y más resistente a la compresión pero menos a la tracción, y más frágil.

Oliveira *et al.*, citado por Condori (2007), afirma que cada especie forestal está caracterizada por una estructura anatómica bien diferenciada desde el punto de vista de su geometría, composición y arreglo de sus elementos constituyentes que permiten hacer inferencias respecto a su comportamiento físico y mecánico. Menciona además, que las propiedades de resistencia no son el reflejo de una única característica anatómica, sino de la interacción de diferentes características estructurales.

5. VARIABILIDAD DE LA MADERA.

Según Panshin y De Zeeuw (1980), señalan que a menudo se asume erróneamente que la madera producida por árboles de la misma especie, son idénticos en todas las características estructurales y físicas. De hecho, diferentes piezas de madera e incluso del mismo árbol nunca serán idénticas siendo similares solo dentro de amplios límites. Vignote y Martínez (2006), menciona que la madera como resultado del crecimiento de un ser vivo posee una propiedad intrínseca a los seres animados, el cual es la diferenciación individual.

La variabilidad dentro de una especie es producto de un sistema complejo de factores interrelacionados, los cuales actúan como modificadores de los procesos fisiológicos que originan la formación de la madera. Generalmente presenta menos variabilidad las mediciones realizadas para un solo árbol, que entre árboles de toda una población, ya que la variabilidad entre árboles puede ser hasta más de 10 veces o superior a la variabilidad dentro

de los árboles de una misma especie. Esta diferencia extrema se debe a que los árboles entre uno y otro no sólo pueden presentar diferencias genéticas, sino que también están sujetos a variaciones por las condiciones ambientales (Arroyo 1983).

Panshin *et al* (1980), menciona que la variabilidad existe por ciertas diferencias en características estructurales de importancia que determinan el comportamiento físico de la madera, tales como el tamaño de los elementos celulares, espesor de las paredes celulares, y proporciones de celulosa y lignina. Dichas variables muchas veces son responsables de las variaciones en la densidad de la madera, y están influenciadas por factores como:

- 1) Cambios en el cambium a medida que envejece.
- 2) Los controles genéticos que regulan la forma y el crecimiento del árbol.
- 3) Las influencias ambientales, como las condiciones estacionales o geográficas, o el suministro de nutrientes.

Finalmente, el mismo autor menciona que la comprensión de la magnitud de la variabilidad de la madera es importante ya que los usos para cada tipo de madera están relacionados con algunas de sus características ya mencionadas. Además la idoneidad o la calidad de la madera destinada a un propósito en particular se determinan por la variabilidad de una o más de estas características que afectan la estructura y por lo tanto sus propiedades.

5.1. VARIABILIDAD DENTRO DEL ÁRBOL.

Según Herrera (1987), la variación dentro de un árbol se da en los siguientes aspectos: dimensiones de las células, variaciones de densidad, en la composición química, en las propiedades físicas, en los anillos de crecimientos o entre la madera juvenil y adulta.

Panshin et al. (1980) señalan que la variabilidad de las características de la madera dentro de un mismo individuo esta fundamentalmente relacionada a cambios resultantes del envejecimiento del cambium y las modificaciones impuestas por la actividad cambial debido a las condiciones medio ambientales.

Así mismo, señala que la madera puede ser dividida en dos regiones sobre la base de las diferencias fundamentales en estructura y propiedades. La madera juvenil y madura deben considerarse como dos poblaciones en el mismo árbol. La madera madura posee características que son consideradas normales para las especies, mientras que la madera juvenil tiene características estructurales y propiedades físicas inferiores a las de la madera

madura del mismo árbol. En general las propiedades pobres de la madera juvenil en relación a la madera madura normal hacen de esta indeseable para propósitos estructurales y se oponen al uso de la madera de arboles jóvenes para algunos propósitos. Por regla general la baja calidad de la madera juvenil es más marcada en coníferas que en latifoliadas.

5.2. VARIABILIDAD ENTRE ÁRBOLES DE LA MISMA ESPECIE.

Arroyo (1983), menciona que las condiciones del sitio y la variabilidad del clima pueden producir grandes modificaciones en las características de la madera entre árboles y dentro de los árboles de una misma especie. Además, que aun dentro de casi idénticas condiciones, existen diferencias hereditarias en cada individuo distinguiéndolos uno de otros.

Panshin (1980), señala que las condiciones ambientales y las influencias geográficas son determinantes en la variabilidad entre árboles. Así, dentro de estos factores están: la competencia en el soporte o la fertilidad del suelo, la ubicación geográfica (temperatura y precipitación), la latitud y la altitud (temperatura y humedad), causan diferencias en la magnitud y patrones de la variabilidad en las propiedades de la madera de arboles de la misma especie. Por ejemplo, aquellos arboles que son dominantes pueden mostrar un patrón de variabilidad en la madera mientras que los individuos vecinos de la misma especie que están suprimidos pueden tener diferentes características.

Arroyo (1983) indica que la variación entre árboles de una misma especie se puede atribuir a:

- Variaciones del cambium producidas por la edad y modificaciones por los cambios en las condiciones de crecimiento.
- La variabilidad relativa al crecimiento existen diferencias hereditarias en cada individuo, las cuales distinguen uno de otros, aun dentro de casi idénticas condiciones.
- Las condiciones del sitio y la variabilidad del clima pueden producir grandes modificaciones en las características de la madera entre arboles y dentro de los arboles de una misma especie.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES

1.1. LUGAR DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

1.2. ESPECIE

Las muestras colectadas corresponden a la especie ulcumano, provenientes de una plantación café - ulcumano de 32 años de edad en el distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa, departamento de Pasco.

La identificación botánica de la especie se realizó en el Herbario Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina (MOL), como se muestra en la Constancia de determinación botánica (Anexo 1), en el cual se determinó que la especie en estudio corresponde a *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page, proveniente de la familia PODOCARPACEAE y tiene como nombre común ulcumano, Romerillo macho.

1.3. MATERIALES

1.3.1. DE CAMPO

- Wincha de 30m
- Machetes
- Cinta métrica
- Pintura o marcadores de madera
- Pintura tipo esmalte o aluminio
- Cinta diamétrica
- Tijera telescópica

- Prensa botánica

1.3.2. DE LABORATORIO

- Pinzas
- Vasos de precipitación de 500 ml
- Desecador de humedad suministrado de silicagel
- Lápices de cera
- Escuadra
- Plástico envolvente
- Lupa 10x
- Artículos de escritorio
- Cuchillas
- Formatos

1.4. EQUIPOS

1.4.1. DE CAMPO

- Motosierra debidamente equipada.
- Sierra de cinta, disco y radial
- Garlopa
- Cepilladora
- Taladro
- Cámara digital
- Hipsómetro
- Brújula
- GPS

1.4.2. DE LABORATORIO

- Prensa Universal TINIUS OLSEN y accesorios
- Probador de tenacidad Wiedemann
- Balanza de precisión de 0.01 g
- Horno eléctrico de 103 +/- 2°C
- Sierra circular portátil
- Vernier digital con precisión de 0.01 mm
- Cámara digital
- Computadora

2. METODOLOGÍA

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA 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. Sus coordenadas de ubicación UTM son 469934 y 8814697 en el vértice inicial de la parcela evaluada dentro de la plantación. En la Tabla 5 se muestra información de la plantación y en la Figura 3 se presenta la ubicación.

Martel (1992), menciona que el clima es húmedo y templado, con temperatura media anual de 17.6 °C, la temperatura mínima promedio es de 13.6 °C y la temperatura máxima promedio es de 21.7 °C; la precipitación promedio anual es de 1840 mm; la humedad relativa mínima es de 76 por ciento y la humedad relativa máxima es 91 por ciento.

Ecológicamente la zona es considerada como bosque muy húmedo pre montano tropical (bmh-PT); la fisiografía es muy compleja con laderas que van de suaves a empinadas con presencia de valles estrechos, donde la erosión es frecuente.

Tabla 5: Información de la plantación de donde se seleccionaron los árboles en estudio.

Área de la plantación	6 hectáreas
Fecha de instalación	1983
Tratamientos silviculturales	Raleo y poda en los primeros 8 años.
Distanciamiento	4m x 4m
Asociación	Plantación instalada y asociada a un sistema agroforestal con café.
Altitud	1762 msnm
Pendiente	40 – 45%

FUENTE: Elaboración propia

2.2. COLECCIÓN Y SELECCIÓN DE MUESTRAS.

La colección de las muestras de madera para la investigación se realizó en base a un muestreo estadístico estratificado al azar, realizando previamente una zonificación al área de la plantación. Posteriormente se seleccionó 5 árboles según la Norma Técnica Peruana 251.008 “Selección y colección de muestras”, con una seguridad estadística del 95 por ciento y un intervalo de confianza de más o menos 15 por ciento. En la Tabla 6 se muestra las características dasométricas de los 5 árboles que fueron seleccionados para el estudio.

Cabe señalar además, que como parte preliminar a la presente investigación, se realizó un inventario forestal dasométrico y morfológico a la plantación estudiada, en el cual se pudo estimar el volumen en 307.14 m³/ha.

Tabla 6: Características dasométricas de los árboles de ulcumano seleccionados para el estudio.

N° de árbol	Código	HC (m)	HT (m)	DAP (cm)	Clase Diamétrica	UTM	
1	371	15	19	19	15 - 20	470010	8814653
2	269	20	26	23	20 - 25	470002	8814654
3	217	18	25	26.8	25 - 30	469971	8814648
4	394	20	28	27	25 - 30	470013	8814636
5	380	25	31	32	30 - 35	460006	8814606

FUENTE: Elaboración propia

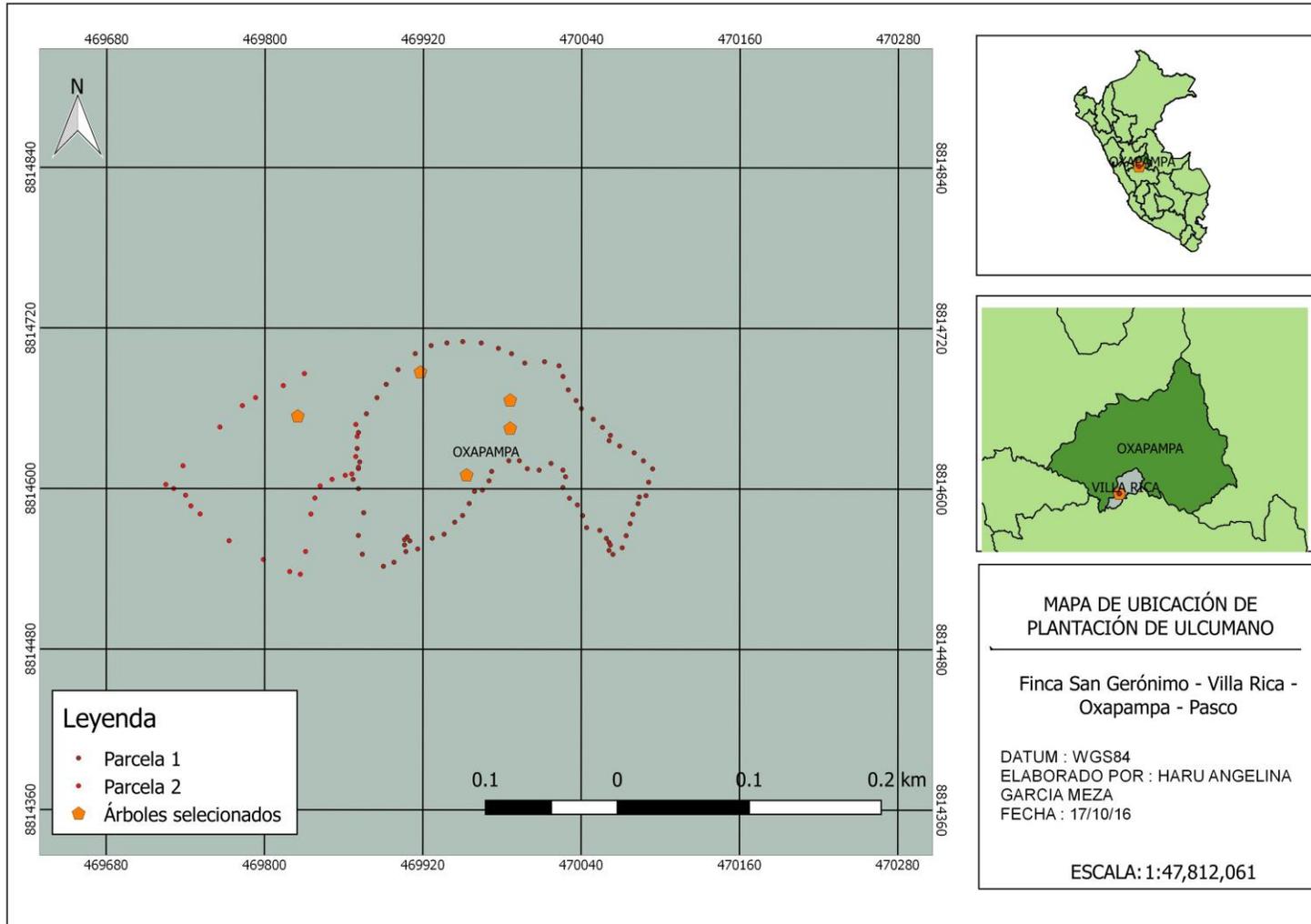


Figura 3: Mapa de ubicación de la plantación zonificada y ubicación de los árboles

FUENTE: Elaboración propia

2.3. PROCESAMIENTO DE TROZAS Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.

Luego de seleccionadas y colectadas las muestras, se cortó 3 trozas de 3 m cada una (Figura 4), para cada uno de los 5 árboles, de acuerdo con las características de calidad de los fustes, obteniendo las trozas correspondientes a la parte basal, media y apical de cada árbol, que fueron codificadas con las letras A, B y C respectivamente.

Las trozas fueron selladas en sus extremos con pintura acrílica, con el fin de conservar el contenido de humedad inicial requerido para el estudio, ya que los ensayos mecánicos se realizaron en condición verde de la madera. Posteriormente las trozas fueron transportadas a Oxapampa donde se elaboraron las probetas.

Las probetas fueron elaboradas en la provincia de Oxapampa según lo estipulado por las Normas Técnicas Peruanas de cada ensayo, y posteriormente fueron enviadas a la Universidad Nacional Agraria La Molina. (Figuras 5 y 6)

El número de probetas utilizadas por tipo de ensayos y niveles en el árbol se muestra en la Tabla 7.



Figura 4: Trozado de árboles seleccionados en la plantación

FUENTE: Elaboración propia



Figura 5: Listones de 5 x 5 cm apilados para la elaboración de las probetas

FUENTE: Elaboración propia



Figura 6: Codificación de probetas de compresión paralela, compresión perpendicular, dureza

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 7: Número de probetas para los ensayos mecánicos de la especie estudiada

Ensayo	Nivel	N° de árbol					Total
		1	2	3	4	5	
Flexión Estática (MOE, MOR, ELP)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Compresión paralela (ELP, RM, MOE)	A	6	6	4	4	4	24
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	14	14	12	12	12	64
Compresión perpendicular (ELP)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Dureza (Lados y Extremos)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Tensión Perpendicular (Tangencial)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Tensión Perpendicular (Radial)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Clivaje (Tangencial)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	4	20
	Total	12	12	12	12	12	60
Clivaje (Radial)	A	4	4	4	4	4	20
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	4	4	4	5	21
	Total	12	12	12	12	13	61
Cizallamiento paralelo al grano (Tangencial)	A	4	5	6	4	4	23
	B	4	4	4	4	4	20
	C	0	4	5	4	4	17
	Total	8	13	15	12	12	60
Cizallamiento paralelo al grano (Radial)	A	4	5	4	4	5	22
	B	4	4	4	4	4	20
	C	4	5	4	4	4	21
	Total	12	14	12	12	13	63

Continuación

Tenacidad	A	16	17	13	17	18	81
	B	16	11	14	13	17	71
	C	11	12	15	17	15	70
	Total	43	40	42	47	50	222
TOTAL PROBETAS ENSAYADAS							830

FUENTE: *Elaboración propia*

2.4. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS POR NIVELES.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento longitudinal de las propiedades mecánicas, se agrupó el material por nivel basal, medio y apical según la ubicación en el árbol (Figura 7), codificando con las letras A, B y C respectivamente. De esta forma, las probetas fueron codificadas según el número de árbol, nivel del fuste, número de probeta y letra de ensayo, de la siguiente manera:

4C-6d, lo cual indica que dicha probeta pertenece al árbol número 4, nivel C (parte apical del árbol), la probeta número 6 y del ensayo de dureza.

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas se efectuaron en condición verde. Los ensayos se realizaron según lo estipulado por las Normas Técnicas Peruanas, la relación de éstas se incluyen en la Tabla 8.

Tabla 8: Normas Técnicas Peruanas utilizadas en los ensayos físicos y mecánicos

PROPIEDAD	NORMA TÉCNICA
1. Propiedades físicas	
1.1. Densidad	NTP 251.011
1.2. Contenido de humedad	NTP 251.010
2. Propiedades mecánicas	
2.1. Flexión estática	NTP 251.017
2.2. Compresión paralela al grano	NTP 251.014
2.3. Compresión perpendicular	NTP 251.016
2.4. Dureza	NTP 251.015
2.5. Tracción perpendicular al grano	NTP 251.086
2.6. Clivaje	NTP 251.019
2.7. Cizallamiento	NTP 251.013
2.8. Tenacidad	NTP 251.018

FUENTE: Elaboración propia

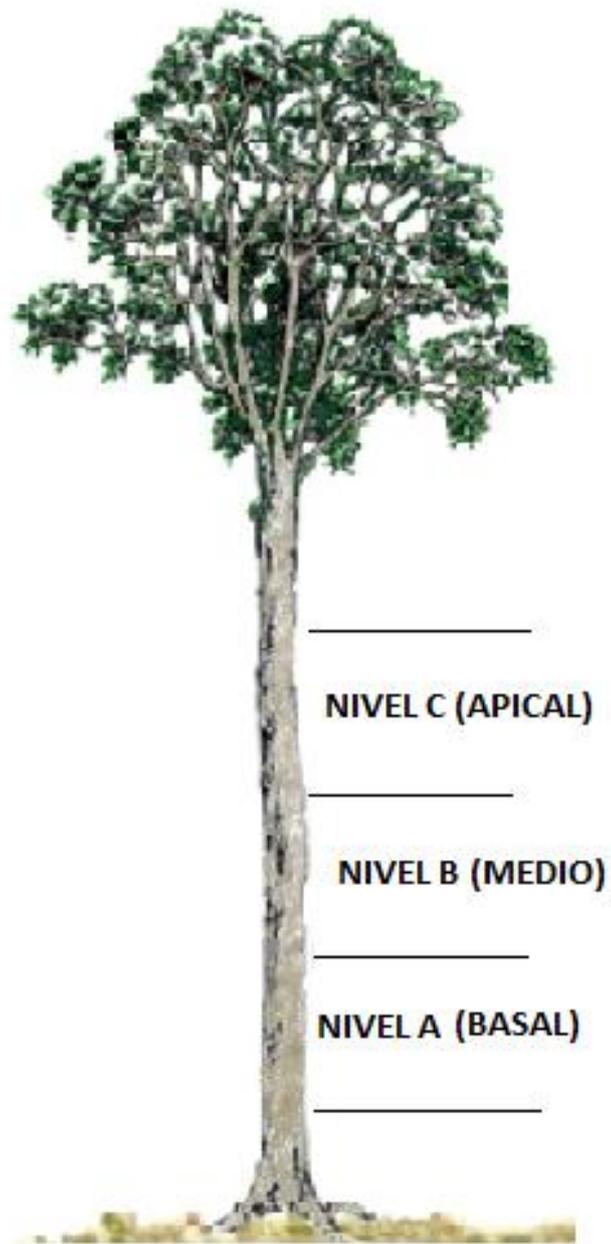


Figura 7: Ubicación de los niveles de corte estudiados longitudinalmente en el árbol

2.5. PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Se ingresaron y ordenaron los datos para procesarlos mediante el uso de los programas Microsoft Excel para Windows. Además, se utilizó el programa InfoStat y S.A.S para el análisis estadístico de los resultados.

Para realizar el análisis estadístico se determinaron las medias, rangos, coeficientes de variación, curvas y gráficos para cada propiedad mecánica.

El análisis estadístico a nivel longitudinal, consistió en realizar un Análisis de Varianza (ANVA) utilizando el modelo estadístico de Diseño Completamente al Azar (DCA), para determinar si existen diferencias significativas ($P < 0.05$) entre alturas y entre árboles para las propiedades mecánicas. Los niveles evaluados fueron basal, medio y apical. Para la validación de este análisis se debió cumplir los supuestos de homogeneidad de variancia y normalidad de los errores. Posteriormente, si se encontraba diferencias significativas entre medias, se prosiguió a utilizar la prueba de Tukey para encontrar las diferencias específicas entre medias.

Asimismo, se realizó un análisis de regresión simple para determinar la influencia de la variable independiente densidad básica sobre las diferentes propiedades mecánicas.

Finalmente se determinaron los posibles usos de la especie desde el punto de vista tecnológico. Para esto se compararon los resultados obtenidos con otras especies de similar densidad y la clasificación de usos según distintos autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PROPIEDADES MECÁNICAS

Los resultados de las propiedades mecánicas evaluadas según el nivel de corte de la especie *Retrophyllum rospigliosii* se presentan en la Tabla 9, el cual incluye valores promedios, rangos, coeficientes de variación y contenido de humedad a diferentes alturas. En la Figura 8 se ilustra estos valores promedios de resistencia comparando los diferentes niveles estudiados. Los resultados del análisis de varianza (ANVA) se presentan en la Tabla 10.

Respecto a las propiedades mecánicas, en los casos de flexión estática, compresión paralela y cizallamiento (radial) presentan una tendencia de disminución de la resistencia mecánica desde la base hacia la parte media, para luego volver a incrementarse en el ápice. Este comportamiento es estadísticamente significativo solo en Flexión, la prueba de comparación Tukey (ver Tabla 10), permite afirmar que existe una diferencia marcada entre el nivel A (basal) con el nivel B (medio), que en el caso del MOR podría explicarse por una disminución en la densidad básica. Mientras que la similitud de los valores promedios del nivel basal con el apical no guarda relación con la densidad básica. Este singular comportamiento probablemente esté relacionado con las condiciones de crecimiento del árbol.

En dureza, tensión perpendicular, compresión perpendicular y clivaje no existe diferencias significativas en los tres niveles en estudio.

Tabla 9: Valores promedios de las propiedades mecánicas de acuerdo a 3 niveles de corte del ulcumano

Propiedades Mecánicas	Unidades	ALTURAS																	
		Nivel A					Nivel B					Nivel C							
		Promedio	Rango		CV (%)	CH (%)	DB	Promedio	Rango		CV (%)	CH%	DB	Promedio	Rango		CV	CH %	DB
			Mínimo	Máximo					Mínimo	Máximo					Mínimo	Máximo			
Flexión Estática	kg/cm ²					105.6	0.35					91.4	0.32					101.2	0.32
ELP		159.4	134.8	183.2	12.0			129.2	109.2	140.3	9.8			151.5	133.9	183.0	13.0		
MOR		331.7	303.9	352.1	6.6			256.4	236.9	275.4	6.7			302.3	270.4	342.7	10.4		
MOE x 1000		75.5	69.3	81.9	7.9			60.8	52.7	72.9	12.5			69.7	45.6	10.4	31.6		
Compresión paralela	kg/cm ²					123.8	0.34					117.6	0.34					117.9	0.33
ELP		120.4	108.2	128.1	6.8			101.7	83.6	142.1	23.4			109.6	92.6	142.2	17.9		
RM		158.9	152.8	168.2	3.8			153.5	130.1	175.9	12.2			163.2	146.9	203.4	14.0		
MOE x 1000		69.6	62.2	81.3	10.9			63.8	47.6	80.7	20.5			68.1	58.2	95.5	23.8		
Compresión perpendicular	kg/cm ²					115.6	0.34					123.7	0.33					130.7	0.35
ELP		20.3	16.8	23.4	11.9			20.2	18.9	22.0	5.7			21.2	19.8	22.0	4.3		
Dureza	kg/cm ²					103.9	0.33					119.5	0.33					119.3	0.34
Extremos		203.1	187.8	218.8	6.2			218.7	184.6	248.1	10.8			223.6	204.0	252.0	9.3		
Lados		185.2	163.7	207.2	8.8			189.5	159.2	219.2	12.6			183.6	153.1	218.0	12.8		
Tensión Perpendicular	kg/cm ²					90.3						113.2						93.9	
Tangencial		19.9	14.2	25.9	21.3			20.8	15.8	26.1	18.9			20.0	15.7	24.3	16.6		
Radial		14.3	12.6	16.1	10.7			14.8	12.9	16.9	10.2			14.8	12.1	17.1	12.4		
Clivaje	kg/cm					121.7						107.3						121.1	
Tangencial		30.5	26.6	32.3	7.4			30.3	27.2	35.7	11.2			32.5	29.8	36.5	8.6		
Radial		22.9	20.0	25.6	9.6			23.6	21.4	25.7	7.7			21.0	17.5	23.6	12.7		
Cizallamiento	kg/cm ²					128.4						110.5						95.5	
Tangencial		56.8	53.4	60.7	5.4			53.5	49.7	57.0	6.2			53.1	48.9	55.9	5.1		
Radial		44.2	39.5	51.5	10.1			42.8	38.5	45.7	6.9			43.4	34.4	51.2	15.5		
Tenacidad	kg - m					118.6	0.36					90.7	0.34					76.2	0.33
Tangencial		1.6	1.3	1.9	12.5			1.4	1.0	1.6	17.0			1.4	1.3	1.5	6.2		
Radial		1.4	1.3	1.7	11.5			1.3	1.0	1.6	19.1			1.2	0.8	1.6	26.8		

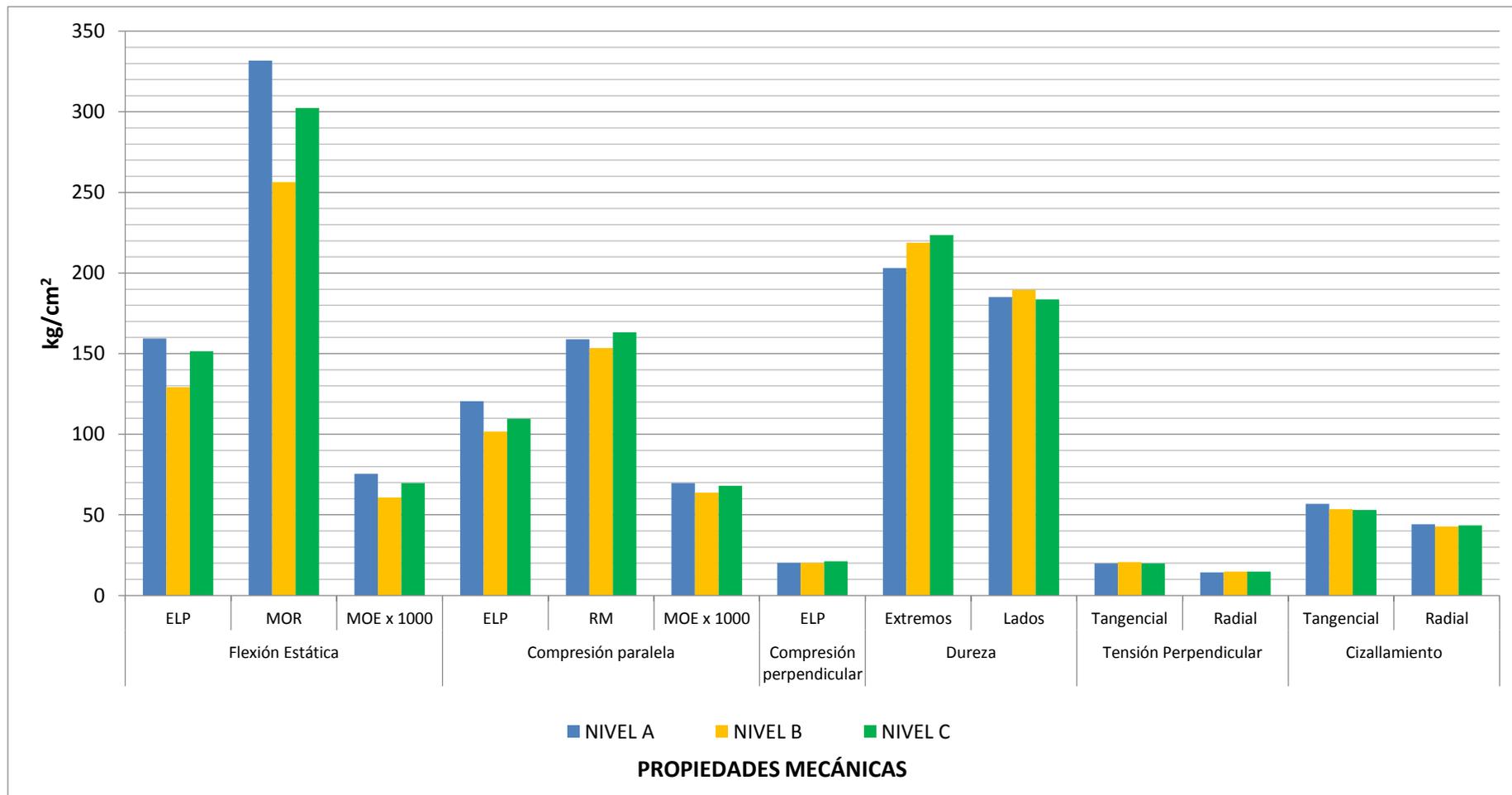


Figura 8: Comparación de los valores promedios de las propiedades mecánicas en 3 niveles de corte del ulcumano de una plantación de 32 años

Tabla 10: Análisis de varianza a nivel longitudinal en 3 niveles de corte

PROPIEDAD MECÁNICA		ANVA	PRUEBA TUKEY
Flexión Estática	ELP	*	B_C_A
	MOR	**	B C_A
	MOE x 1000	N.S.	
Compresión paralela	ELP	N.S.	
	RM	N.S.	
	MOE x 1000	N.S.	
Compresión perpendicular	ELP	N.S.	
Dureza	Extremos	N.S.	
	Lados	N.S.	
Tensión Perpendicular	Tangencial	N.S.	
	Radial	N.S.	
Clivaje	Tangencial	N.S.	
	Radial	N.S.	
Cizallamiento	Tangencial	N.S.	
	Radial	N.S.	
Tenacidad	Tangencial	N.S.	
	Radial	N.S.	

N.S. : No significativo

()* : Significativo

*(**)* : Altamente significativo

La variabilidad en los esfuerzos de flexión estática (MOE), compresión paralela (ELP y MOE), tensión perpendicular (radial) y tenacidad (radial) es alta, que puede estar relacionada con factores tales como presencia de nudos e inclinación de la fibra. Sin embargo estas se encuentran por debajo de los valores recomendados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Wood Handbook). En la Tabla 11 se incluyen dichos valores.

Finalmente en la Tabla 12 se presentan los valores promedios para la especie en estudio, con la salvedad de que existen diferencias significativas en flexión estática: esfuerzo al límite proporcional y módulo de ruptura.

Tabla 11: Coeficientes de variabilidad de las propiedades mecánicas entre, dentro y totales comparados según Wood Handbook

PROPIEDAD MECÁNICA		COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			Coefficient of Variability (Wood Handbook, 2010) (%)
		ENTRE ÁRBOLES	DENTRO ÁRBOL	TOTAL	
Flexión Estática	ELP	14.51	11.89	14.24	22
	MOR	13.27	8.15	13.17	16
	MOE x 1000	20.25	20.21	20.81	22
Compresión paralela	ELP	17.47	16.65	17.01	24
	RM	9.52	10.99	10.50	18
	MOE x 1000	12.58	19.11	18.13	
Compresión perpendicular	ELP	7.56	7.93	7.63	28
Dureza	Extremos	6.60	9.07	9.40	17
	Lados	6.63	11.56	10.79	20
Tensión Perpendicular	Tangencial	11.42	19.03	10.44	25
	Radial	7.99	11.15	17.73	
Clivaje	Tangencial	8.19	9.15	10.53	-
	Radial	10.77	10.04	9.08	-
Cizallamiento	Tangencial	5.98	5.56	10.64	14
	Radial	11.78	11.40	6.01	
Tenacidad	Tangencial	15.55	12.64	14.42	34
	Radial	21.54	19.28	19.50	

Tabla 12: Propiedades mecánicas de la especie ulcumano procedente de una plantación de 32 años

<i>Propiedades</i>	<i>Unidades</i>	<i>CH %</i>	<i>Promedio</i>	<i>Rango</i>		<i>CV (%)</i>
				<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
<i>Flexión Estática</i>		99.4				
ELP	kg/cm ²		146.7	109.2	183.2	14.2
MOR			296.8	236.9	352.1	13.2
MOE x 1000				68.7	45.6	10.4
<i>Compresión paralela</i>		119.8				
ELP	kg/cm ²		110.6	83.6	142.2	17.0
RM			158.5	130.1	203.4	10.5
MOE x 1000				67.5	47.6	95.5
<i>Compresión perpendicular</i>		123.4				
ELP	kg/cm ²		20.6	16.8	23.4	7.6
Dureza	kg/cm ²	114.2				
Extremos			215.1	184.6	252.0	9.4
Lados				186.1	153.1	219.2
<i>Tensión Perpendicular</i>		99.1				
Radial	kg/cm ²		14.7	12.1	17.1	10.4
Tangencial				20.2	14.2	26.1
Clivaje	kg/cm	116.7				
Radial			22.5	17.5	25.7	10.5
Tangencial				31.1	26.6	36.5
<i>Cizallamiento</i>		111.4				
Radial	kg/cm ²		43.5	34.4	51.5	10.6
Tangencial				54.5	48.9	60.7
<i>Tenacidad</i>		95.2				
Tangencial	kg - m		1.5	1	1.9	14.4
Radial				1.3	0.8	1.7

Los resultados del análisis de correlación y regresión entre las propiedades mecánicas y la densidad básica se presentan en la Tabla 13. Se observa que los resultados obtenidos fueron bajos, a excepción de dureza, donde el valor del coeficiente de determinación indica que la variable densidad básica explica el 45 por ciento del valor. Probablemente esta relación se

vea afectada principalmente por la presencia de nudos como consecuencia de una falta de manejo de los árboles en la plantación.

De los resultados obtenidos se demuestra que la efectividad de una madera para resistir cualquier fuerza no sólo está en función de la cantidad de sustancia de la pared celular, sino también de las proporciones en que se encuentran los componentes de esa pared celular. Además, cabe mencionar que las coníferas de climas templados generalmente presentan grandes diferencias en diámetros radiales y espesores de las paredes celulares entre las traqueidas de madera temprana y tardía del mismo anillo (Arroyo 1983).

En consecuencia la variable independiente densidad básica se puede utilizar mediante la aplicación de ecuaciones lineales, para predecir los valores de resistencia de la propiedad de dureza de la especie en estudio.

Tabla 13: Coeficiente de determinación, coeficientes de correlación y Ecuación de regresión lineal entre Densidad Básica y las propiedades mecánicas de ulcumano

PROPIEDAD MECÁNICA		Coeficiente de Correlación (r)	Coeficiente Determinación (r²)	Ecuación Lineal
Flexión Estática	ELP	0.42	0.18	ELP = -6.92 + 463.6 DB
	MOR	0.65	0.42	MOR = - 97.9 + 1191.3 DB
	MOE	0.28	0.08	MOE = - 5148.1 + 222751 DB
Compresión Paralela	ELP	0.42	0.18	ELP = -80.76 + 568.25 DB
	RM	0.43	0.19	RM = 20.84 + 407.68 DB
	MOE	0.41	0.17	MOE = -34848 + 303491 DB
Compresión Perpendicular	ELP	0.41	0.17	ELP = 6.59 + 40.6 DB
Dureza	Extremos	0.67	0.45	Dur. Extre. = - 108.13 + 1731.9 DB
	Lado	0.67	0.45	Dur. lados = - 138.5 + 1631.4 DB
Tenacidad		0.56	0.31	Tenacidad = -1.53 + 8.43 DB

Donde:

DB : Densidad básica

2. COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO CON MADERA DE BOSQUE NATURAL.

Los valores promedios obtenidos de las propiedades mecánicas del ulcumano procedente de una plantación agroforestal, son inferiores a las del bosque natural de Cajamarca (valores ajustados al 30 por ciento de contenido de humedad), a excepción de compresión perpendicular y cizallamiento, siendo superiores en 7 por ciento y 6.6 por ciento respectivamente. Posiblemente estas diferencias de mayor resistencia en algunas propiedades mecánicas procedente de los árboles de plantación, se deba por las condiciones de suelo y de fisiografía. Además, existen otros factores que pueden influir en este comportamiento tales como la edad del árbol, la herencia genética, presencia de madera juvenil. (Tabla 14 y Figura 9).

Tabla 14: Comparación de las propiedades mecánicas del ulcumano con distintas procedencias

<i>Propiedades Mecánicas</i>	<i>LUGARES DE PROCEDENCIA</i>	
	<i>Villa Rica, Pasco (1)</i>	<i>Cajamarca (2)</i>
<i>Flexión Estática</i>		
ELP	146.7	216.9
MOR	296.8	436.2
MOE x 1000	68.7	-
<i>Compresión paralela</i>		
ELP	110.6	113.2
RM	158.52	165.6
MOE x 1000	67.48	-
<i>Compresión perpendicular</i>		
ELP	20.6	19.1
<i>Dureza</i>		
Extremos	215.1	277.2
Lados	186.1	198.3
<i>Tensión Perpendicular</i>	17.4	18.9
<i>Cizallamiento</i>	49.0	45.7
<i>Clivaje</i>	26.8	-
<i>Tenacidad</i>	1.4	-

1) *Especie en estudio en condición saturada.* 2) *Ensayos ajustados al 30 por ciento*

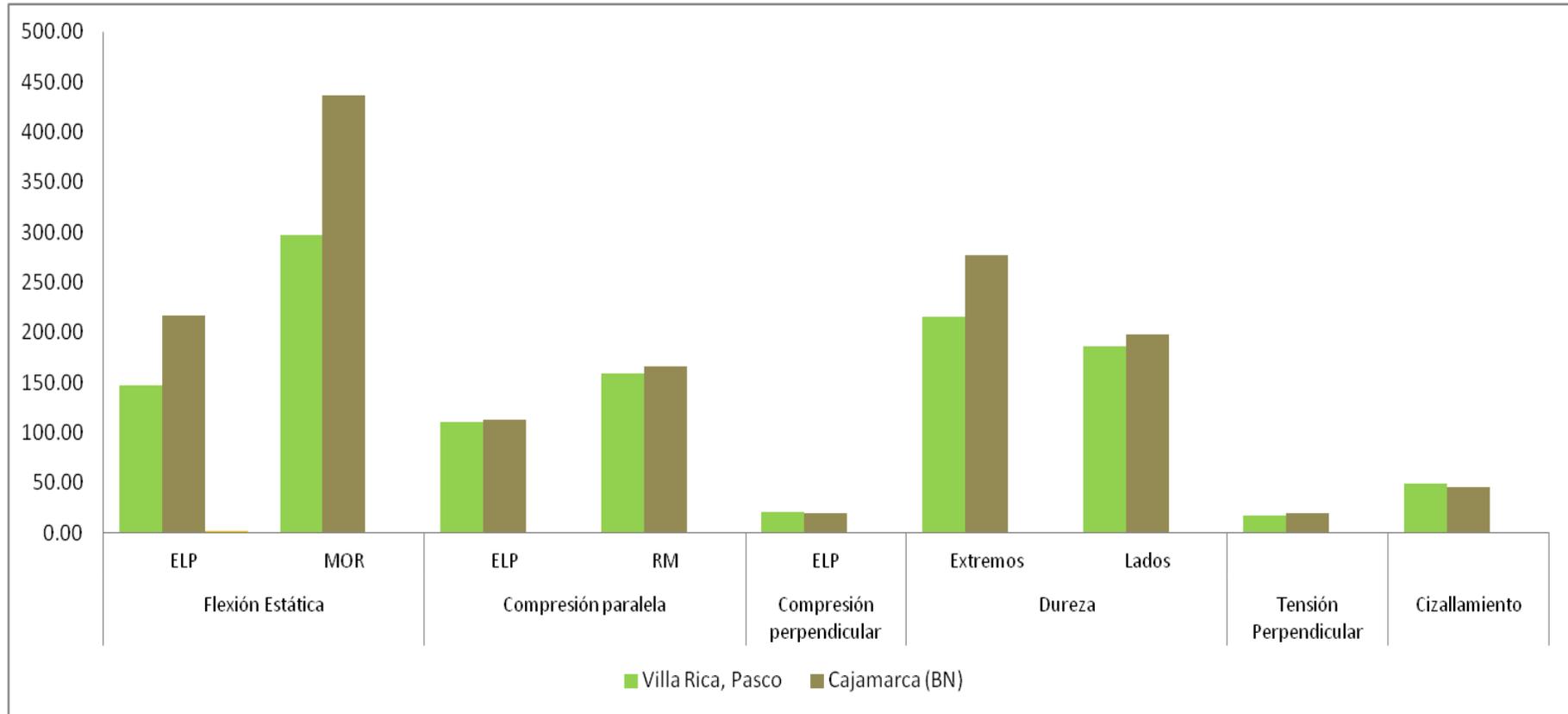


Figura 9: Comparación de las propiedades mecánicas del ulcumano procedente de una plantación de 32 años y bosque natural, en condición verde

3. CLASIFICACIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.

En la Tabla 15 se muestran las propiedades mecánicas para la madera de *Retrophyllum rospigliosii*, la cual fue clasificada según los criterios de Aróstegui (1982) y Dávalos y Bárcenas (1998), como una madera de baja resistencia mecánica.

Tabla 15: Clasificación de las propiedades mecánicas de *Retrophyllum rospigliosii* a la edad de 32 años

Propiedad		Contenido de Humedad (%)	Valor promedio	Criterios de Clasificación	
				Aróstegui (1982)	Dávalos y Bárcenas (1998)
Flexión Estática	MOR	99.4	296.8	Muy bajo	Bajo
	MOE		68.7	-	Bajo
Compresión Paralela	RM	119.8	158.5	Baja	Muy Bajo
Compresión Perpendicular	ELP	123.4	20.6	Baja	Bajo
Cizallamiento		111.4	98.5	Alta	Alto
Dureza	Lados	114.2	186.1	Baja	Bajo
	Extremos		215.1	-	Bajo

4. APTITUD DE USO

Con el fin de determinar la aptitud de uso de la especie en estudio, se comparó con otras coníferas de similar densidad básica y propiedades mecánicas, tales como: *Pinus durangensis*, *Araucaria angustifolia*, *Pinus pseudostrobus* y *Abies concolor*, cuyas aptitudes de uso y valores promedios de resistencia se presentan en las Tablas 16 y 17. Además teniendo como referencia los usos de ulcumano procedente de bosque natural, las posibles aptitudes de uso para esta madera son: carpintería de obra, muebles y ebanistería, trabajos de carpintería, artículos deportivos, cajonería, laminado y como material para pulpa.

Tabla 16: Comparación de las propiedades mecánicas de la especie en estudio con otras especies coníferas de densidad similar

<i>Especie</i>	<i>Densidad Básica</i>	<i>CH%</i>	<i>Flexión</i>		<i>Compresión paralela</i>	<i>Compresión perpendicular</i>	<i>Dureza Lado</i>	<i>Cizallamiento</i>	<i>Tenacidad</i>	<i>Fuente</i>
			<i>MOR</i>	<i>MOE</i>	<i>RM</i>	<i>ELP</i>				
<i>Retrophyllum rospigliosii</i>	0.33	saturado	297	68.70	159	21	186	49	1.40	Especie en estudio
<i>Pinus duragensis</i>	0.36	saturado	254.03	39.39	97.99	18.62	182.35	40.07	2.76	(Witting, 1996)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.38	saturado	309.39	56.06	137.5	22.74	218.33	47.35	3.07	(Witting, 1996)
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.38	saturado	402.8	78.90	148.9	22.7	242	61	1.02	(Jost, 2006)
<i>Abies concolor</i>	0.37	-	410	80	200	19	153	52	-	(Wood Handbook, 1999)(*)

(*) Jost, (2006)

Tabla 17: Usos del ulcumano de otras coníferas de similar densidad

Nombre científico	Densidad Básica	Pisos	Tejas	Carpintería de obra	Maderas de construcción	Carpintería	Artículos deportivos	Ebanistería	Construcción pesada en general	Cajonería	Encofrado	Molduras	Laminado	Contrachapado	Muebles	Tableros de fibras y partículas	Pulpa para papel
<i>Retrophyllum rospigliosii</i> (*):	0.33			X		X	X	X		X			X		X		X
- Especie en estudio																	
-Bosque Natural	0.41			X	X	X		X		X	X				X		X
<i>Pinus duragensis</i>	0.36			X		X	X	X		X							
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.38	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	0.38			X		X	X	X		X							
<i>Abies concolor</i>	0.37	X	X	X		X	X		X	X	X		X	X	X		

(*): Especie en estudio

V. CONCLUSIONES

- 1) Los valores promedios de las propiedades mecánicas de la madera de ulcumano la clasifican como madera de baja resistencia mecánica.
- 2) La propiedad mecánica de flexión estática de la madera de ulcumano presenta a nivel longitudinal variaciones significativas.
- 3) Las ecuaciones de regresión demuestran que la densidad básica es un estimador para predecir la resistencia en módulo de ruptura en Flexión estática y la Dureza.
- 4) Los valores de resistencia de la madera en estudio presenta valores promedios inferiores al de bosque natural.
- 5) Las aptitudes de uso de la madera en estudio son principalmente para carpintería de obra, muebles y ebanistería, trabajos de carpintería, artículos deportivos, cajonería, laminado y como material para pulpa para papel.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que identifiquen el aporte de la fertilización en la asociación café – ulcumano en la calidad de la madera.
- Realizar los estudios anatómicos para explicar mejor el comportamiento de las propiedades de la madera y de la probable presencia de madera de reacción. Así como identificar la madera juvenil y adulta, que ayudaría a estimar la edad optima de cosecha.
- Complementar estudios sobre el comportamiento de la madera al secado, preservado y trabajabilidad, buscando optimizar su valor comercial.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M; kikata, Y. 1994. Atlas of Peruvian Woods. Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima, Perú. Universidad de Nagoya, JP. 154 p.
- Amaya, J. 1985. Tratamientos pre germinativos de *Juglans neotropica* diels y *podocarpus rospigliosii* pilger, en inmersiones de agua y ácido giberélico. Tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, PE. 120 p.
- Arcos, M. 1994. Sistemas agroforestales: Panorama general. Boletín Técnico 1. INIA. Lima, PE.
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y Análisis de Estudios tecnológicos de Maderas Peruanas. Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002 Fortalecimiento de los Programas de Desarrollo Forestal en Selva Central. Lima, PE. 57 p.
- Aróstegui, A; SATO, A. 1968. Propiedades Físico – Mecánicas y Usos de dos Especies de *Podocarpus* (*P. Rospigliosii* Pilger; *P. Montanus* vas *Meridensis* Bucholz y Gray. Revista Forestal del Perú. 4 (1-2). 3 p. Lima, PE.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades físico mecánicas de la madera. Texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. Universidad de los Andes, FCF. Mérida, VE. 186 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2000. Standard test methods for small clear specimens of timber, Designation: D 143-94 (Reapproved 2000) – Primary methods. Philadelphia, US. 31 p.
- Bárceñas, G; Zarate, R; Ordóñez, V; Guerrero, A; Honorato, J. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. *Madera y Bosques* 9 (1): 55-70. Artículo de Investigación (en línea). Consultado 20 jun. 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/237037642_Correlacion_de_los_resultados_de_impacto_o_tenacidad_de_16_maderas_mexicanas_utilizando_dos_metodos_de_prueba

- Brack, W; Suarez, M; Martel, A; Amiquero, B; Brack, A. 1989. Sistemas Agrosilvopastriles e importancia de la Agroforestería en el Desarrollo de la Selva Central. Proyecto Peruano – Alemán. PE.
- Carhuallanqui, R. 2003. Efecto de la sombra y fertilización en el cultivo del café var. Catimor en Villa Rica, Selva Central del Perú. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Carneiro, A. 2004. Avaliação de espécies florestais par arborização de cafeeiros no norte do Paraná: efeito na produtividade e na proteção contra geadas de radiação. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Tese Doutor en Ciências Florestais. Curitiba, BR.
- Condori, C. 2007. Propiedades mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (tornillo) proveniente de 2 tipos de plantación y diferentes edades del Centro de Investigación Jenaro Herrera - Loreto. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Durán, P. 2003. Evaluación de las propiedades mecánicas de madera de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (Tornillo) proveniente de plantaciones, con respecto a la influencia de cuatro factores de crecimiento. Tesis Ing Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Guzmán, Y. 1979. Variación de algunas Propiedades físicas, Mecánicas y características Anatómica de *Pinus caribaea* Morelet, proveniente de las plantaciones de Uverito, Estado Monagas. Tesis Magister Scientiae. Mérida, VE.
- Jost, F. 2006. Propiedades Físicas y Mecánicas de la *Araucaria angustifolia* proveniente de plantaciones de Oxapampa. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 114 p.
- Junta del acuerdo de Cartagena. 1982. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Proyectos Andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. PADT-REFORT. Lima, PE.
- Kollman, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Ministerio de Agricultura. Dirección General de montes, caza y pesca fluvial. Instituto Forestal de Investigaciones, Experiencias y Servicios de la madera. Madrid, ES. 675 p.

- Laubenfels, D. 1991. Las Podocarpaceas del Perú. Boletín de Lima. XIII (73). Lima, PE. 60 p.
- Martel. 1992. Productividad y costos en el desembosque de trozas con bueyes en Villa Rica (Oxapampa). Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Meléndez, M. 2011. Propiedades Mecánicas de las maderas de *Diploporia* sp., *Otoba parvifolia*, *Peltogyne* sp., *Virola albidiflora* y *Vochysia* sp. Proveniente de las cuencas de los ríos Nanay y Napo. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Selección y Colección de Muestras. NTP 251.008. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de Contenido de Humedad. NTP 251.010. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de Densidad. NTP 251.011. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de Compresión Perpendicular al grano. NTP 251.012. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Cizallamiento Paralelo al grano. NTP 251.013. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de la Compresión Axial o Paralela al grano. NTP 251.014. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de Dureza. NTP 251.015. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Ensayo de Flexión Estática. NTP 251.017. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Método de Determinación de Tenacidad. NTP 251.018. Lima, PE.
- Normas Técnicas Peruanas. 1980. Determinación de la Tensión Perpendicular a las Fibras. NTP 251.086. Lima, PE.

- Panshin, A; De Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology. Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. 4 Ed. McGraw-Hill Book Company. New York, US. 722 p.
- Pantigoso, J. 2009. Propiedades físicas y mecánicas de la capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann) procedente de una plantación experimental en San Alejandro Ucayali-Perú. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE.
- Pennington, T; Reynel, C; Daza, A. 2004. Illustrated guide to the Trees of Peru. Drawings by Rosemary Wise. GB.
- Reynel, C; León, J. 1990. Árboles y arbustos andinos para Agroforestería y conservación de suelos. t. 1. Especies forestales útiles para el productor agropecuario. FAO. Ministerio de Agricultura. PE. 102 p.
- Reynel, C; Pennington, T.D; Pennington, R.T; Marcelo, J; Daza, A. 2006. Árboles útiles del Ande peruano. Una guía de identificación, ecología y propagación de las especies de la Sierra y los Bosques Montanos en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 203 p.
- TROPICAL MISSOURI BOTANICAL GARDEN. 2015. (en línea) Consultado el 29 de set 2015. Disponible en <http://tropicos.org/Name/50216037>
- United Statet Department of Agriculture. 2010 . Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. USDA. Winsconsin, US. 509 p.
- U. S. Departament of Agriculture. 1955. Wood handbook. Handbook N° 72. Washington. US. 528 p.
- Vásquez, A. 2010. Anatomía de la madera de las podocarpáceas colombianas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Forestal. Córdoba, ES.
- Vignote, S; Martinez, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3 ed. Mundi – Prensa. Madrid, ES. 687 p.
- Witting, F. 1996. Propiedades físicas y mecánicas de *Pinus duragensis* , *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus*. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 55 p.

Zevallos, P. (1988). Estudio dendrológico de las podocarpáceas y otras especies forestales de Jaén y San Ignacio. Universidad Nacional Agraria La Molina. CONCYTEC. Jaén. PE. Pag. 13

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 CONSTANCIA DE IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 349-2041, TEF: 349-5647 / 349-5669, Anexo .203
/244, APDO. 12 - 056 LA MOLINA LIMA PERU

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud de la Señorita **Haru Angelina García Meza**, 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 : Haru Angelina García Meza

N° 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)

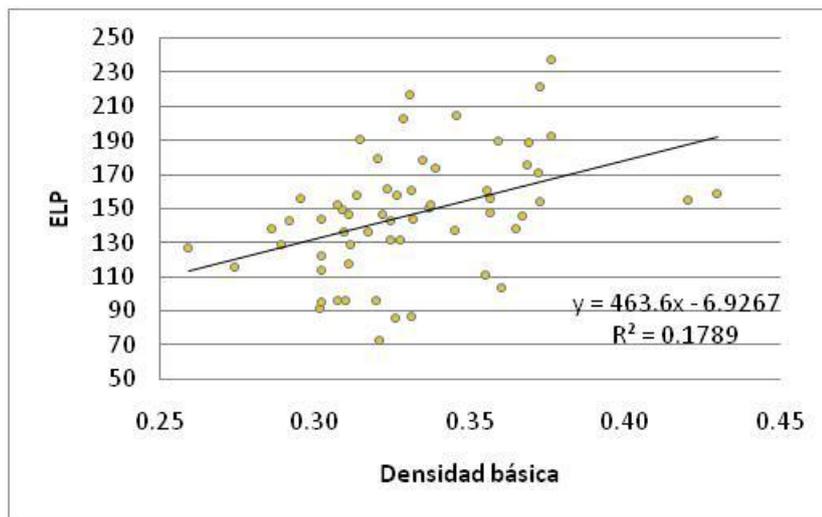


La Molina, 18 de abril 2016

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

ANEXO 2
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL EN FLEXIÓN ESTÁTICA.

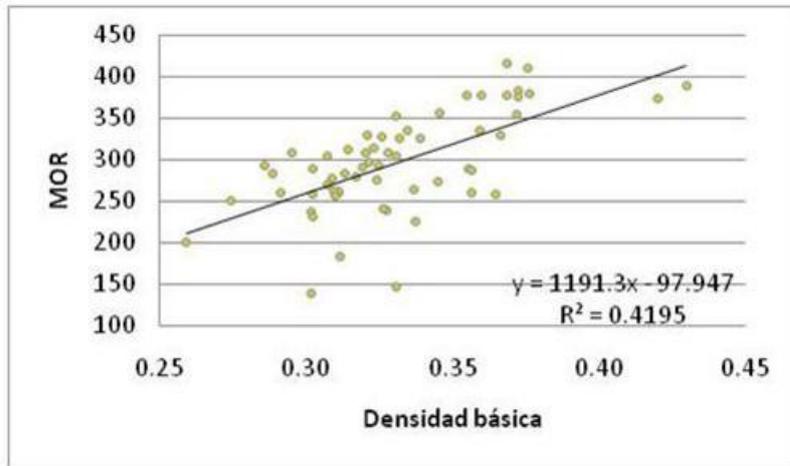
ELP vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	13173,553	1	13173,553	12,686	,001
	Residuo	60228,351	58	1038,420		
	Total	73401,904	59			

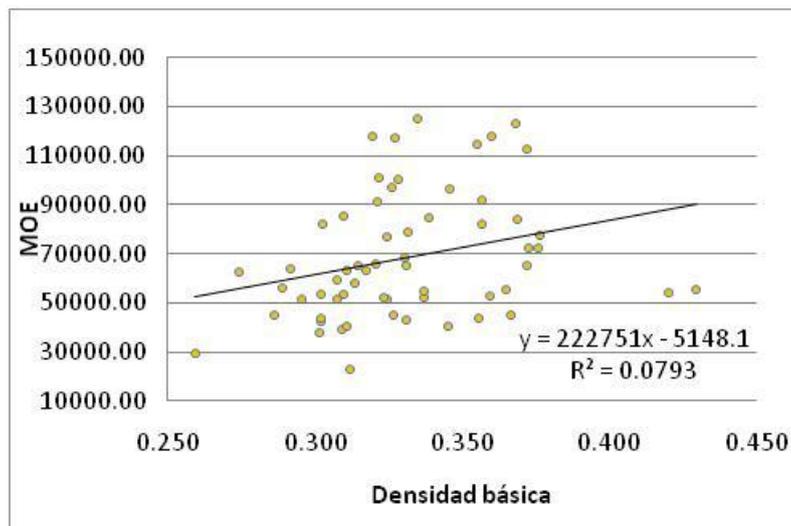
MOR vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	86603,923	1	86603,923	41,836	,000
	Residuo	120063,288	58	2070,057		
	Total	206667,211	59			

MOE vs DENSIDAD BÁSICA

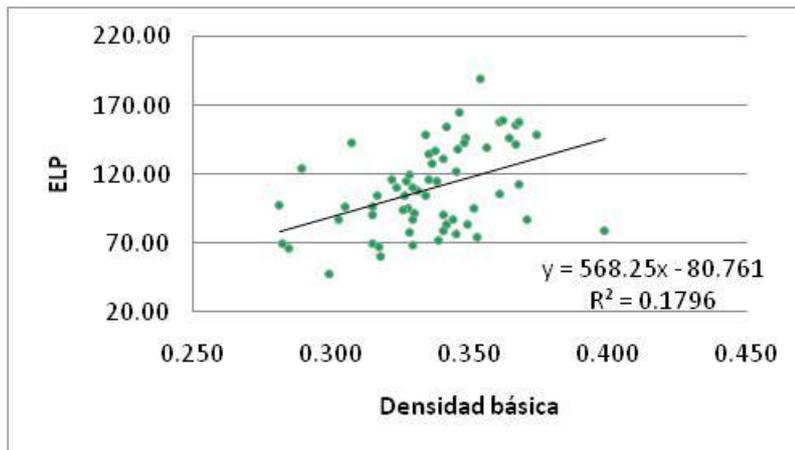


ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3013752871,199	1	3013752871,199	4,967	,030
	Residuo	35192913978,472	58	606774378,939		
	Total	38206666849,671	59			

ANEXO 3
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL EN COMPRESIÓN PARALELA.

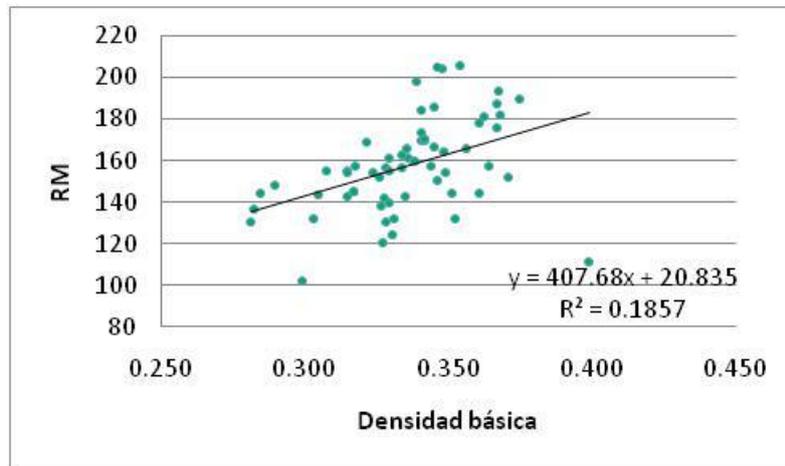
ELP vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	10833,372	1	10833,372	13,143	,001
	Residuo	50280,935	61	824,278		
	Total	61114,307	62			

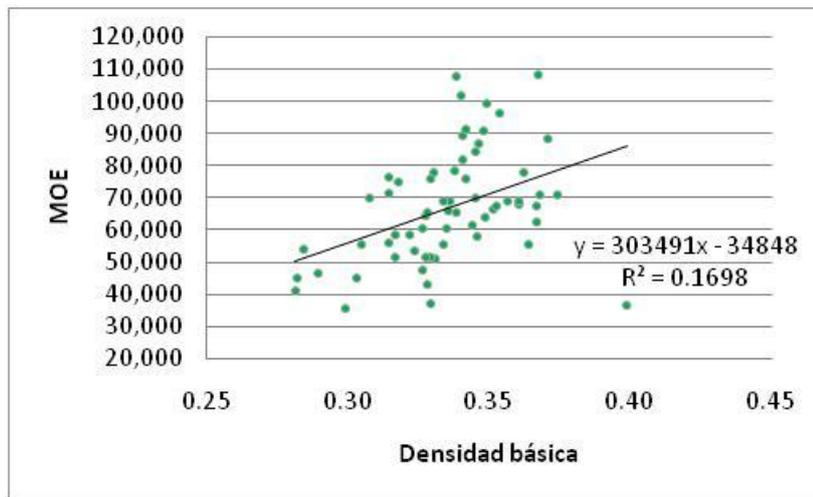
RM vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	10833,372	1	10833,372	13,143	,001
	Residuo	50280,935	61	824,278		
	Total	61114,307	62			

MOE vs DENSIDAD BÁSICA

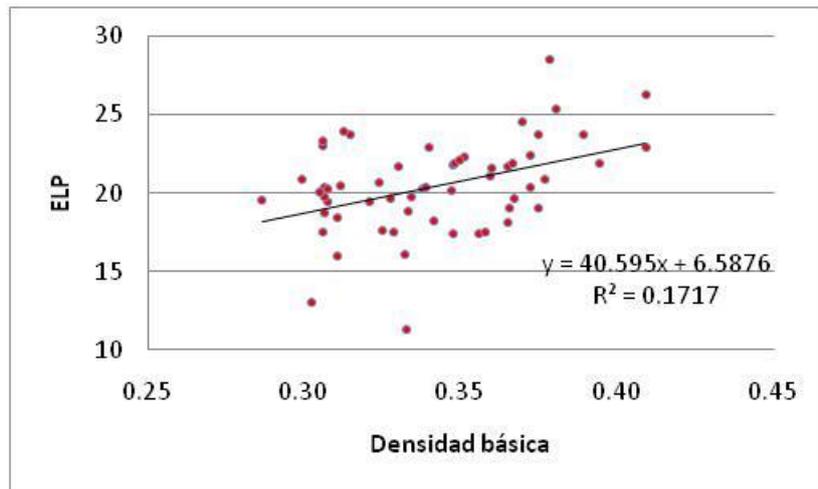


ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3152508463,340	1	3152508463,340	12,581	,001
	Residuo	15285280317,376	61	250578365,859		
	Total	18437788780,716	62			

ANEXO 4
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL EN COMPRESIÓN PERPENDICULAR.

ELP vs DENSIDAD BÁSICA

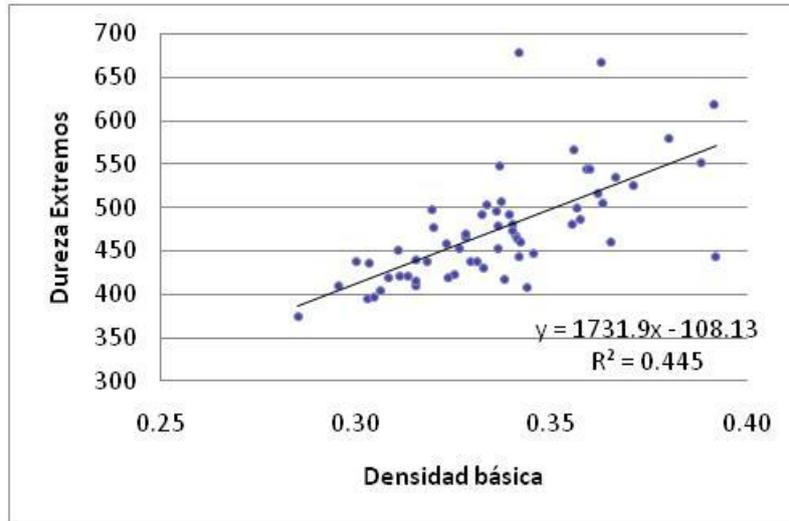


ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	84,634	1	84,634	11,604	,001
	Residuo	408,448	56	7,294		
	Total	493,082	57			

ANEXO 5
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL EN DUREZA.

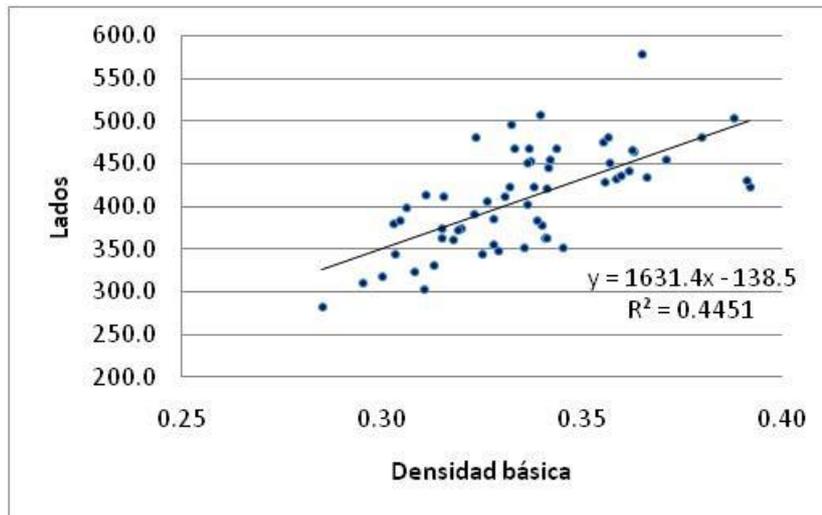
EXTREMOS vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	102358,995	1	102358,995	46,669	,000
	Residuo	127210,238	58	2193,280		
	Total	229569,233	59			

LADOS vs DENSIDAD BÁSICA

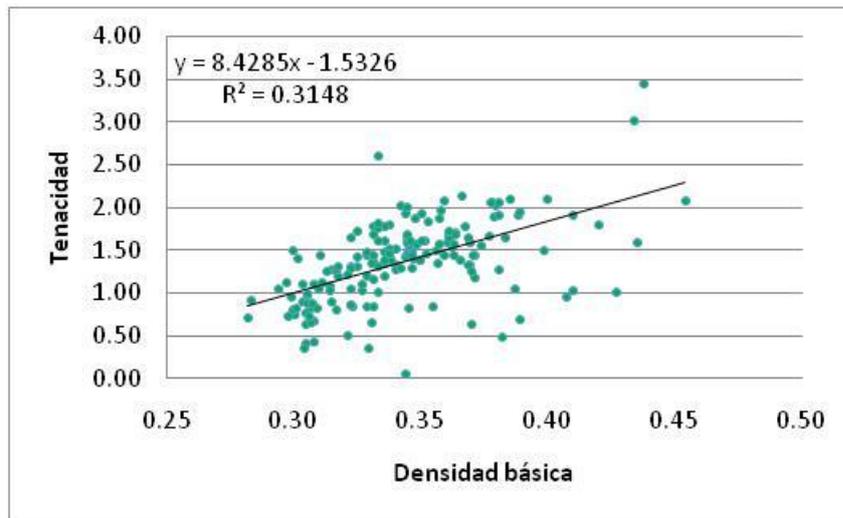


ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	90632,169	1	90632,169	46,529	,000
	Residuo	112974,956	58	1947,844		
	Total	203607,125	59			

ANEXO 6
ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL EN TENACIDAD.

TENACIDAD vs DENSIDAD BÁSICA



ANOVA

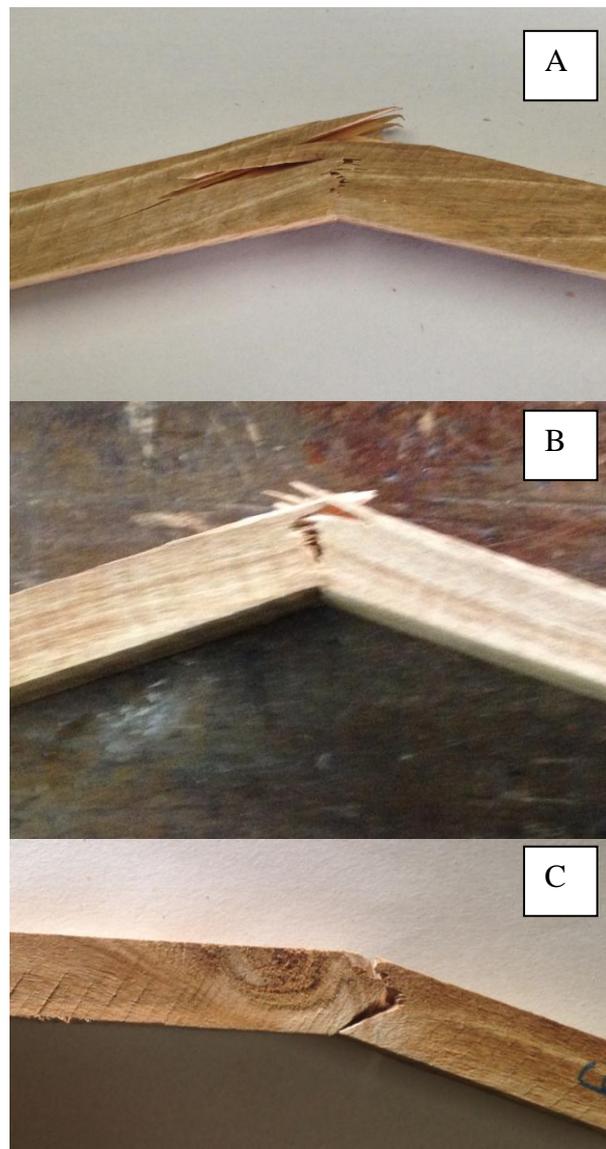
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	12,474	1	12,474	77,198	,000
	Residuo	27,146	168	,162		
	Total	39,620	169			

ANEXO 7
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA LA
ESPECIE (5 ÁRBOLES)

PROPIEDAD MECÁNICA		ANVA
Flexión Estática	ELP	N.S.
	MOR	N.S.
	MOE x 1000	N.S.
Compresión paralela	ELP	N.S.
	RM	N.S.
	MOE x 1000	*
Compresión perpendicular	ELP	N.S.
Dureza	Extremos	*
	Lados	**
Tensión Perpendicular	Tangencial	*
	Radial	N.S.
Clivaje	Tangencial	N.S.
	Radial	N.S.
Cizallamiento	Tangencial	N.S.
	Radial	N.S.
Tenacidad	Tangencial	N.S.
	Radial	N.S.

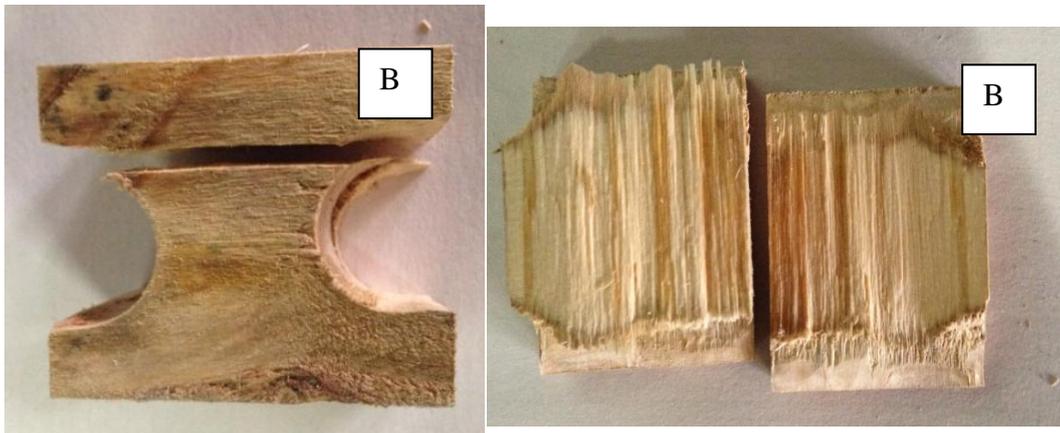
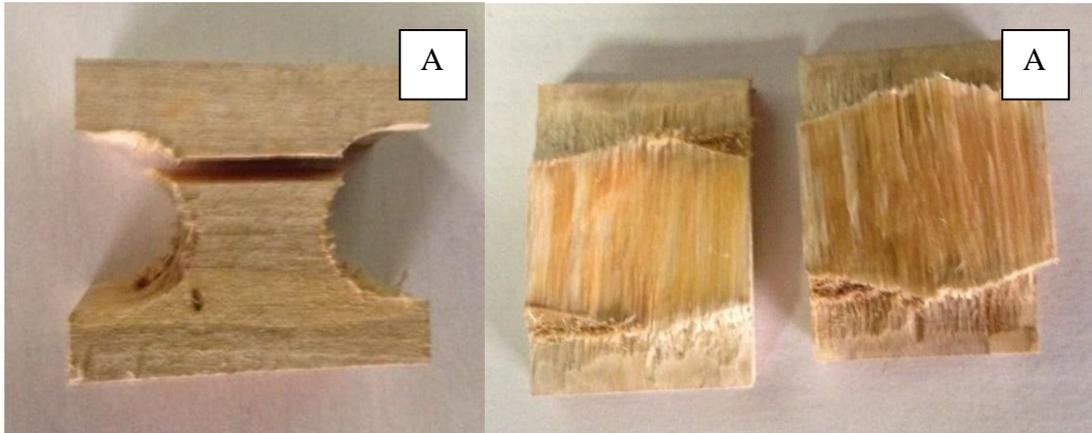
ANEXO 8
FOTOGRAFÍAS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS EN LOS ENSAYOS DE
PROPIEDADES MECÁNICAS.

TENACIDAD



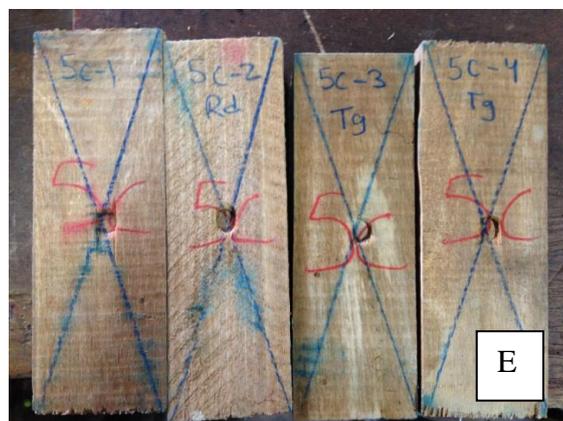
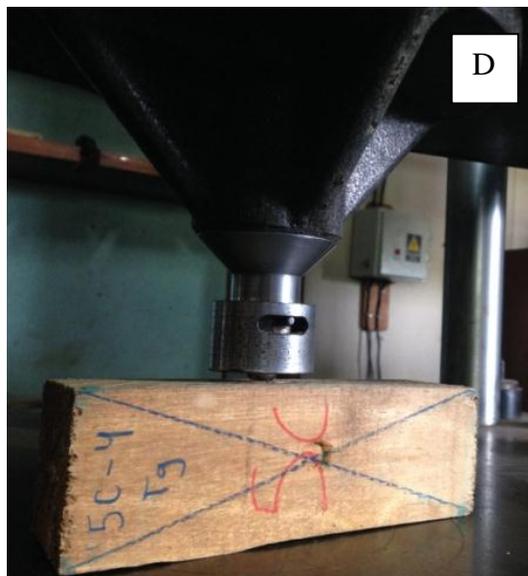
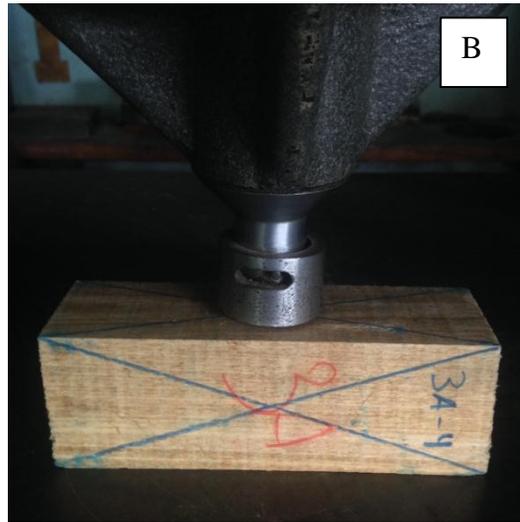
A) y B) Fallas obtenidas en el ensayo de tenacidad C) Presencia de nudo en la probeta ensayada

TRACCIÓN



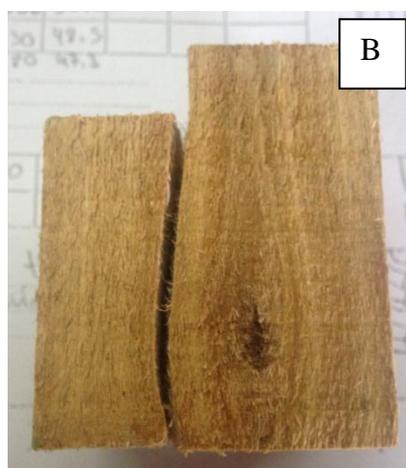
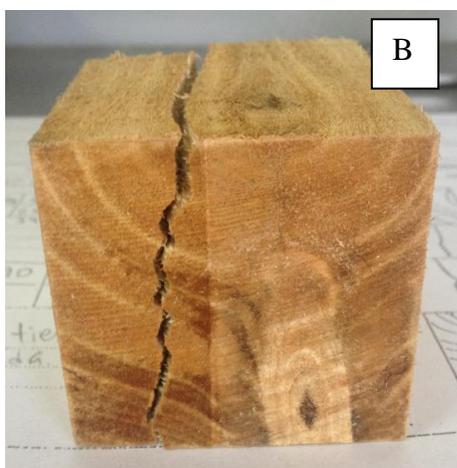
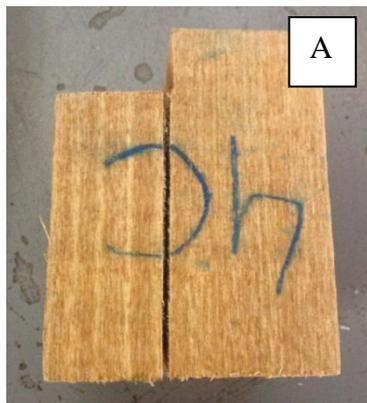
A), B) y C) Probetas de tracción luego de ser ensayadas

DUREZA



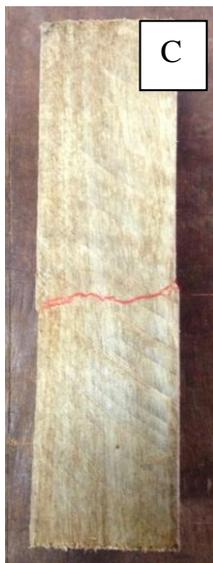
A) y C) Ensayo de dureza en extremos; B) y D) ensayo de dureza en lados E) probetas ensayadas

CIZALLAMIENTO



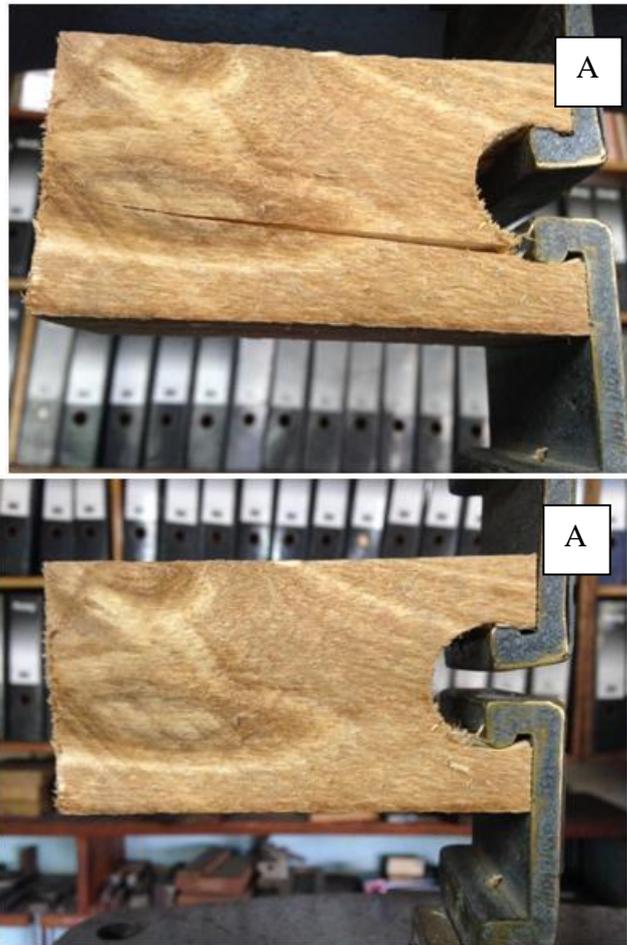
A) B) y C) probetas de cizallamiento luego de ser ensayadas

COMPRESION PARALELA



A) B) y C) probetas de cizallamiento luego de ser ensayadas

CLIVAJE



A) Ensayo de clivaje