

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Propiedades físico-mecánicas del Aliso,  
Alnus acuminata HBK, proveniente de  
Chalaco-Piura**

*Tesis para optar el Título de  
**INGENIERO FORESTAL***

**Jorge Eduardo López Fierro**

Lima – Perú  
2006

## *RESUMEN*

El distrito de Chalaco, ubicado en la provincia de Morropón en el departamento de Piura, viene desarrollando diversos programas sociales y de investigación, que pretenden revertir los bajos índices de desarrollo humano y los penosos indicadores de calidad de vida que posee la región, y buscan incentivar a la implementación de nuevas alternativas de manejo sostenible de sus recursos naturales, para así poder generar mayor rentabilidad en sus actividades.

El *Alnus acuminata* H.B.K. es uno de los recursos naturales potenciales que ostenta la zona antes mencionada, por lo que el desarrollo del presente estudio, basado en la determinación y comparación de las propiedades físico-mecánicas de la especie, ayudará al establecimiento de su adecuado uso y eficiente manejo.

Es así que, sobre la base de los resultados físicos-mecánicos del presente estudio, la madera del *Alnus acuminata* HBK procedente de Piura posee una clasificación baja tanto para su densidad y cambios dimensionales totales como para su resistencia mecánica.

Por otra parte, de acuerdo al análisis de regresión y correlación correspondiente a las propiedades físicas, no existe dependencia significativa entre la densidad básica y los cambios dimensionales totales. Además, los valores de las propiedades mecánicas correspondientes al Módulo de Elasticidad (MOE) para la Flexión Estática, Dureza y Extracción de Clavos poseen diferencias significativas entre los niveles basal y apical del árbol.

Con relación a la determinación del probable uso del *Alnus acuminata* HBK de Piura, los resultados físico-mecánicos nos permiten inferir los siguientes usos: tejas debidamente preservadas, carpintería de obra no estructural, mueblería y cajonería liviana.

Finalmente, la madera del *Alnus acuminata* HBK procedente de Chalaco-Piura es más heterogénea y de menor calidad que la procedente del Valle del Mantaro, dado que la mayor homogeneidad de la fisiografía y el mejor comportamiento del tipo de suelo de esta última procedencia determinarían una mejor conducta de las propiedades físico-mecánicas.

# ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VII
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1 GENERALIDADES.....	13
2.2 DISTRIBUCIÓN.....	14
2.3 ASPECTOS ECOLÓGICOS Y CLIMA.....	14
2.4 FACTORES EDÁFICOS .....	14
2.5 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE .....	15
2.6 MADERA.....	15
2.6.1 <i>Características generales</i> .....	15
2.6.2 <i>Anatomía</i> .....	16
2.6.3 <i>Madera juvenil y de reacción</i> .....	17
A) Madera Juvenil.....	17
B) Madera de Reacción.....	21
2.6.4 <i>Variabilidad de las propiedades físico-mecánicas</i> .....	22
2.6.5 <i>Propiedades físico-mecánicas</i> .....	23
A) Propiedades físicas.....	23
a) Densidad Básica .....	24
B) Propiedades mecánicas.....	26
2.6.6 <i>Trabajabilidad y Durabilidad</i> .....	29
2.6.7 <i>Secado</i> .....	29
2.6.8 <i>Preservación</i> .....	29
2.6.9 <i>Usos actuales y potenciales</i> .....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN .....	30
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....	30
3.2.1 <i>Materiales</i> .....	30
A) Madera.....	30
B) Materiales de campo:.....	31
C) Materiales de gabinete:.....	31
3.2.2 <i>Equipos</i> .....	31
A) Equipos de preparación de probetas:.....	31
B) Equipos de Laboratorio: .....	32
3.3 METODOLOGÍA .....	32
3.3.1 <i>Selección y colección de muestras</i> .....	32
A) Características de sitio.....	33
a) Chalaco.....	33
b) Valle del Mantaro .....	34
B) Características de los individuos seleccionados.....	35
3.3.2 <i>Procesamiento de trozas</i> .....	36
3.3.3 <i>Ensayos realizados</i> .....	36
A) Propiedades físicas.....	36
B) Propiedades mecánicas.....	37

3.3.4	<i>Procesamiento de datos y evaluación de resultados</i> .....	37
A)	De la madera proveniente de Chalaco.....	37
B)	De la evaluación comparativa con la madera proveniente del Valle del Mantaro.....	38
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>39</b>
4.1	PROPIEDADES FÍSICAS.....	39
4.1.1	<i>Alnus acuminata HBK de Chalaco-Piura</i> .....	39
4.1.2	<i>Evaluación del Alnus acuminata HBK procedente de Piura y Huancayo</i> .....	41
4.1.3	<i>Densidad básica y cambios dimensionales totales</i> .....	42
4.1.4	<i>Comparación de las propiedades físicas con especies de similar densidad básica</i> .....	43
4.2	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	44
4.2.1	<i>Alnus acuminata HBK de Chalaco-Piura</i> .....	44
4.2.2	<i>Evaluación del Alnus acuminata HBK procedente de Piura y Huancayo</i> .....	51
4.2.3	<i>Comparación con especies tropicales de similar densidad básica</i> .....	53
A)	Propiedades mecánicas.....	53
B)	Aptitudes de uso.....	54
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>57</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>58</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>66</b>
	IDENTIFICACIÓN ANATÓMICA DE LA ESPECIE.....	66
	<b>ANEXO 2</b> .....	<b>68</b>
	RESULTADOS ESTADÍSTICOS CORRESPONDIENTES A LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	68
	<b>ANEXO 3</b> .....	<b>71</b>
	ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD BÁSICA Y LOS CAMBIOS DIMENSIONALES.....	71
	<b>ANEXO 4</b> .....	<b>76</b>
	RESULTADOS ESTADÍSTICOS CORRESPONDIENTES A LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	76
	<b>ANEXO 5</b> .....	<b>81</b>
	RESULTADOS DEL ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.....	81
	<b>ANEXO 6</b> .....	<b>91</b>
	CALIFICACIÓN PROPUESTA POR ARÓSTEGUI (1982) SEGÚN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA.....	91
	<b>ANEXO 7</b> .....	<b>93</b>
	REQUISITOS PARA LOS PRINCIPALES USOS DE LA MADERA SEGÚN ARÓSTEGUI (1982).....	93
	<b>ANEXO 8</b> .....	<b>97</b>
	VALORES PROMEDIO, RANGOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA CADA ÁRBOL EN ESTUDIO PROVENIENTE DE PIURA.....	97
	<b>ANEXO 9</b> .....	<b>99</b>
	COEFICIENTES DE VARIABILIDAD (%) DE CONTRACCIONES Y RELACIÓN T/R CORRESPONDIENTES A CADA ÁRBOL EN ESTUDIO PROVENIENTE DE PIURA.....	99
	<b>ANEXO 10</b> .....	<b>101</b>
	VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA CADA NIVEL DEL ÁRBOL.....	101
	<b>ANEXO 11</b> .....	<b>103</b>
	AJUSTE DE VALORES DE RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE PORCENTAJES (ACEVEDO, 1973).....	103

ANEXO 12 .....	106
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK PROVENIENTE DEL VALLE DEL MANTARO, OBTENIDOS PARA CORROBORAR A ALIAGA (1972) .....	106

## *Lista de cuadros*

	Página
CUADRO 1 VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK.....	26
CUADRO 2 VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK .....	28
CUADRO 3 CARACTERÍSTICAS DE INDIVIDUOS SELECCIONADOS .....	35
CUADRO 4 VALORES PROMEDIO Y DE DISPERSIÓN PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK DE PIURA. ....	39
CUADRO 5 VALORES PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK OBTENIDAS PARA PIURA Y HUANCAYO .....	41
CUADRO 6 VALORES PROMEDIO Y DE DISPERSIÓN PARA LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK DE PIURA (CONDICIÓN SATURADA) .....	46
CUADRO 7 CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK DE PIURA, SEGÚN ARÓSTEGUI (1982) 51	51
CUADRO 8 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK DE 15 AÑOS EN CONDICIÓN SATURADA DE PIURA Y HUANCAYO. ....	52
CUADRO 9 USOS ACTUALES DE LAS ESPECIES CON DENSIDAD BÁSICA SIMILAR A LA DEL <i>ALNUS ACUMINATA</i> HBK PROCEDENTE DE PIURA. ....	55

## *Lista de figuras*

	Página
FIGURA 1	CORTES ANATÓMICOS DEL <i>ALNUS ACUMNATA</i> HBK .....16
FIGURA 2	MADERA DE TRANSICIÓN DE JUVENIL A MADURA EN CONÍFERAS (INCREMENTO GRADUAL EN LOS VALORES DE ALGUNAS PROPIEDADES).....18
FIGURA 3	MADERA DE TRANSICIÓN DE JUVENIL A MADURA EN CONÍFERAS (DISMINUCIÓN GRADUAL EN LOS VALORES DE ALGUNAS PROPIEDADES).....19
FIGURA 4	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: CHALACO-PIURA .....35
FIGURA 5	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS OBTENIDAS PARA PIURA Y HUANCAYO .....42
FIGURA 6	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS CON AQUELLAS DE ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD.43
FIGURA 7	FALLA EN FLEXIÓN ESTÁTICA .....45
FIGURA 8	FALLA EN TENACIDAD .....48
FIGURA 9	FALLA EN TENSIÓN PERPENDICULAR.....49
FIGURA 10	FALLA EN CIZALLAMIENTO .....50
FIGURA 11	FALLA EN CLIVAJE.....50
FIGURA 12	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDAS PARA PIURA Y HUANCAYO (CONDICIÓN SATURADA).....52
FIGURA 13	COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS CON AQUELLAS DE ESPECIES TROPICALES DE SIMILAR DENSIDAD .....54

## 1. INTRODUCCIÓN

Diversas instituciones como Promperú, Mirhas Perú (Movimiento para la realización del hábitat social), El Gobierno de Navarra, CONADES (Conferencia Nacional de Desarrollo Social) y la Universidad Privada de Piura, vienen desarrollando planes estratégicos locales y regionales en el Norte del Perú, evidenciando la importancia de considerar el manejo sostenible de los ecosistemas frágiles de montaña, como eje principal para el desarrollo económico, ecológico y social de las poblaciones ubicadas en el interior de dichos ecosistemas.

En este marco, en el distrito de Chalaco, ubicado en la provincia de Morropón en el departamento de Piura, se están desarrollando programas sociales y de investigación, con el apoyo integral y complementario de instituciones públicas y organizaciones sociales. Dichos programas están orientados a revertir los bajos índices de desarrollo y calidad de vida que ostenta la región, e incentivar la implementación de nuevas alternativas de manejo sostenible de los recursos naturales para poder generar mayor rentabilidad en sus actividades.

Es así como se ha priorizado evaluar el potencial maderero del Aliso (*Alnus acuminata* HBK), el cual, gracias a su introducción hace aproximadamente 15 años, representa en la actualidad una población aproximada de 20000 individuos, cuyos usos se circunscriben en la agroforestería, esencialmente como cortinas rompevientos de cultivos agrícolas y en el control de la erosión de las laderas de montaña.

El presente estudio evalúa las propiedades físico-mecánicas de la madera del *Alnus acuminata* HBK que se desarrolla en la zona, para identificar su aptitud de uso. Asimismo, se comparan dichas propiedades con aquellas del *Alnus acuminata* HBK proveniente del Valle del Mantaro, para así evaluar las posibles diferencias en la calidad de la madera sobre la base de las condiciones de crecimiento.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 GENERALIDADES

Según Russo (1994) el *Alnus acuminata* HBK es una especie de crecimiento rápido cuyas dimensiones promedio a los 30 años de edad en condiciones naturales son 30 m. de altura y 50 centímetros de diámetro. La edad máxima puede ser 60 años<sup>1</sup>. Esta especie es valorada por la calidad de su madera, como protección de la línea divisoria de las aguas y mejora del suelo. Su distribución comprende desde México hasta el Norte de Argentina, fácilmente se propaga por semillas y regeneración natural. Ha sido satisfactoriamente introducida en el sur de Chile y Nueva Zelanda.

En relación a su taxonomía existe una confusión considerable. Furlow (1977) divulgó la especie como *Alnus acuminata* H.B.K., pero en su última revisión (Furlow, 1979) la clasificó como *Alnus acuminata* ssp *arguta*. La especie también ha sido descrita como *Alnus jorullensis* H.B.K. por Carlson y Dawson (1985). Trabajos taxonómicos del Missouri Botanical Garden (2004) indican lo siguiente:

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Dicotyledoneae

**Orden:** Fagales

**Familia:** Betulaceae

**Nombre científico:** *Alnus acuminata* H.B.K.

**Sinónimos:** *Alnus jorullensis* H.B.K., *A. jorullensis* var. *ferruginea* Kunth., *A. mirbelli* Spach, *A. acuminata* var. *spachii*, *Alnus jorullensis* var. *spachii*, *Alnus arguta* Spach.

**Nombre vernacular o común:** Aliso (Perú), ilite (México); palo de lama (Guatemala), jaúl (Costa Rica); cerezo (Colombia).

---

<sup>1</sup> A Publication of the Forest, Farm, and Community Tree Network-Winrock International. 1994.

## 2.2 DISTRIBUCIÓN

La Universidad Distrital de Bogotá (1978) menciona que esta especie se distribuye desde México hasta el norte de Argentina: México, Guatemala, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú y Argentina.

## 2.3 ASPECTOS ECOLÓGICOS Y CLIMA

El *Alnus acuminata* H.B.K. es una especie heliófita y pionera de crecimiento rápido, que regenera en zonas abiertas. Tolerancia un amplio rango de climas y de tipos de suelo, más no suelos salinos. Su principal factor limitante es la humedad, tanto del suelo como del ambiente. La especie sufre con vientos fríos en zonas altas, los cuales afectan el crecimiento y forma del fuste y copa. Posee adecuadas condiciones de crecimiento a 1200-3000 msnm, con una temperatura media anual de 14-20 °C y con una precipitación pluvial de 2000-5000 mm al año, teniendo una estación seca de 0-3 meses (National Academy of Sciences NAS, 1980).

## 2.4 FACTORES EDÁFICOS

Dicha especie prefiere suelos limosos con alto contenido de materia orgánica, pero puede crecer en suelos pobres, pedregosos y poco profundos. La textura se determina como ligera a pesada en suelos limosos, limo-arenosos y franco-limosos de origen volcánico y aluvial. El pH del suelo puede ser ácido o neutro, llegando a tolerar un pH tan bajo como 4.5. Con respecto al drenaje la especie prefiere suelos profundos y bien drenados, pero húmedos; además en áreas secas prefiere orientación norte-sur y quebradas sombreadas, tolerando pendientes elevadas (Rojas *et. al.*, 1991).

## 2.5 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

La Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal de Colombia CONIF (1996) menciona que el árbol del *Alnus acuminata* H.B.K. puede alcanzar una altura de hasta 40 m. en plantaciones y DAP de 20-50 cm. habitualmente. La copa es abierta y de redondeada a piramidal con fuertes ramas laterales. La corteza es gris o plateada. El sistema radical es amplio y se expande cercano a la superficie, presentando en la capa superficial de 5 cm., nódulos fijadores de nitrógeno por acción del *Actinomyces alni*.

Según Rojas *et. al.* (1991), las hojas son simples, alternas, dispuestas en espiral, de 6-15 cm de largo y de borde aserrado. Los adultos pierden algunas o todas las hojas durante la estación seca. Puede florecer desde los 4-5 años, pero normalmente lo hace a los 8-10 años. Las flores masculinas y femeninas aparecen en amentos diferentes en la misma rama. Los amentos masculinos son verde amarillentos, colgantes, de 4-12 cm. de largo y aparecen en grupos de 3-6. Los amentos femeninos en forma de cono, de 7-10 cm. de largo y aparecen en grupos erectos con 4-9 inflorescencias por racimo. Los frutos de color marrón oscuro cuando están maduros y contienen más de 100 semillas aladas de 1-3 mm de largo.

## 2.6 MADERA

### 2.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La madera del *Alnus acuminata* H.B.K. es marrón-amarilla claro a rosada, inodora e insípida, sin diferencias entre el duramen y la albura. Los informes sobre peso específico varían a partir de 0.34 a 0.39 (Tuk, 1980) y 0.5 a 0.6 (NAS, 1980).

Russo (1994) menciona que la madera se seca fácilmente y preserva bien, tiene grano recto y homogéneo, y es fácil trabajar y acabar a mano o máquina. A pesar de su peso ligero es resistente y fuerte, y se utiliza a veces para la construcción. La madera también se utiliza para la leña, postes, para construcción ligera, cajas, manijas de la escoba, instrumentos domésticos, corazones del chapeado, tablero de partícula e instrumentos musicales. Según CATIE (1986), el valor calorífico del *Alnus acuminata* H.B.K es de 19.250 kJ/kg.

## 2.6.2 ANATOMÍA

La madera presenta una estructura primitiva evidenciada por la presencia de platinas de perforación escaleriformes. Las punteadores intervasculares opuestas, radios uniseriados en agregados y parénquima apotraqueal difuso. Las características más evolucionadas son la presencia de radios homogéneos y elementos vasculares numerosos (Rondón y Hernández-Gil, 1987). Además, Acevedo y Kikata (1994) mencionan que la madera posee una porosidad difusa con 8-18 poros/mm<sup>2</sup>, parénquima con presencia de células cristalíferas septadas y 14-20 radios/mm distribuidos no estratificadamente, lo cual se aprecia en la figura 1.

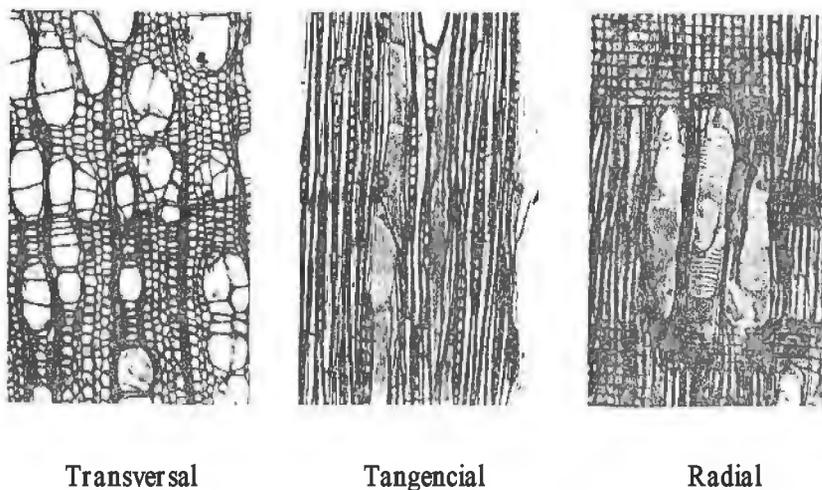


Figura 1 Cortes anatómicos del *Alnus acuminata* HBK

### 2.6.3 MADERA JUVENIL Y DE REACCIÓN

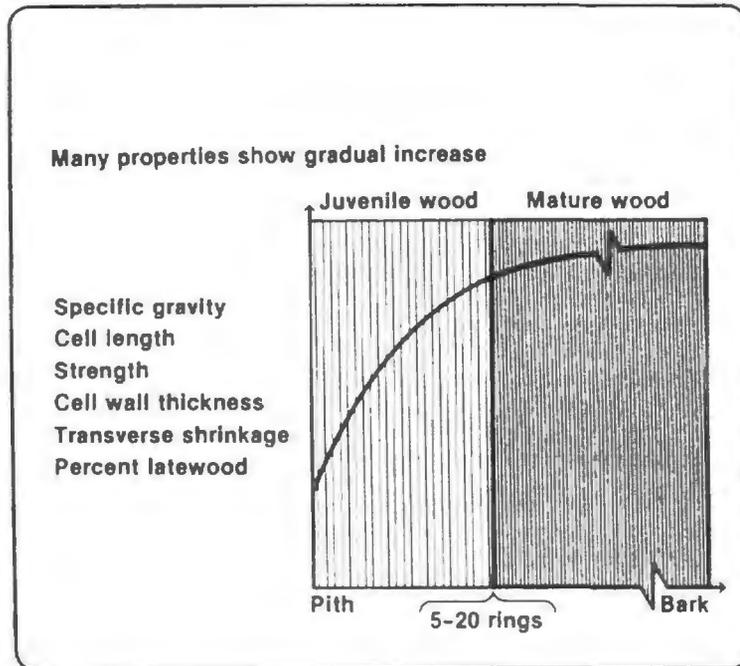
#### *A) MADERA JUVENIL*

Haygreen y Bowyer (1982) menciona que la madera juvenil ha sido definida como un xilema secundario producido por regiones cambiables que son influenciadas por la actividad en el meristemo apical. Esta definición explica el porqué existe una transición gradual en las propiedades entre la madera juvenil y la madera madura.

La madera juvenil es difícil de identificar mediante una observación casual, especialmente en coníferas, aunque diversas características normales son algunas veces modificadas. En latifoliadas, los vasos de la madera juvenil son frecuentemente más pequeños y arreglados de manera diferente a partir de aquellos característicos de una madera madura. Una característica consistente que normalmente se convierte en una variable en la madera juvenil es el tipo de perforaciones en platinas de vasos. Las perforaciones escaleriformes han sido reportadas en la madera juvenil de especies que normalmente tienen vasos con platinas de perforación simple.

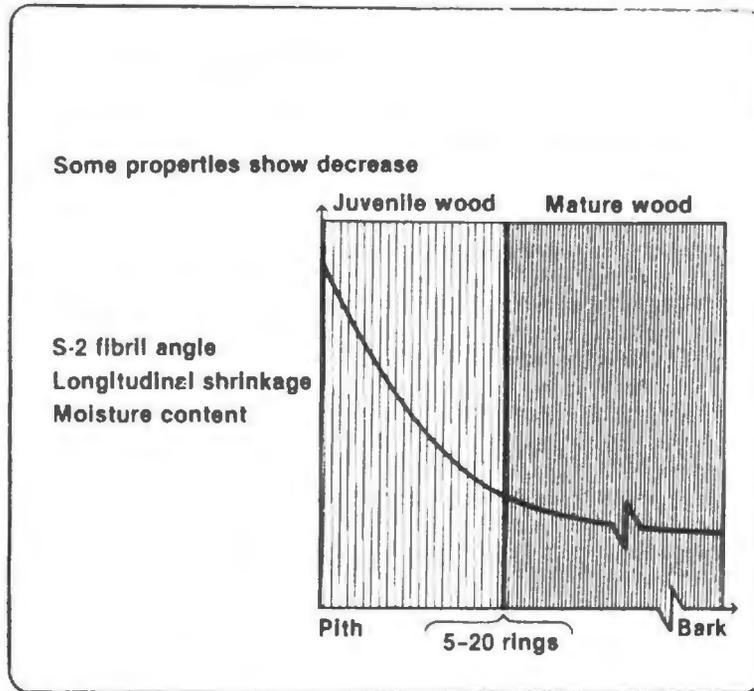
Bendtsen (1978) menciona que la presencia de madera juvenil determina una baja densidad y por consiguiente una baja resistencia con respecto a la madera adulta. En coníferas de los Estados Unidos, la densidad es típicamente 10-15 % menor en madera juvenil, determinando una baja resistencia del material, la cual es comúnmente manifestada con una disminución del 15-30%, llegando al 50%, con relación a las propiedades de resistencia para una madera madura normal. Sin embargo, tanto en maderas suaves como en maderas duras podemos encontrar, como resultado de la presencia de madera juvenil, una baja densidad y por consiguiente una disminución en la resistencia de las propiedades mecánicas.

No existe una demarcación exacta entre la madera juvenil y madura, por lo que una transición gradual ocurre desde el centro del árbol hacia afuera. Bendtsen (1978) explica ello cuando dice que la madera en los primeros anillos formados tiene el peso específico más bajo, las fibras más cortas y los ángulos de microfibrillas más grandes; así sucesivamente desde el centro el peso específico se incrementa, las fibras se convierten en más largas y los ángulos de microfibrillas decrecen. Las figuras 2 y 3 ilustran este cambio gradual en las propiedades de la madera.



Fuente: Bendtsen, B. A., (1978)

**Figura 2** Madera de transición de juvenil a madura en Coníferas (incremento gradual en los valores de algunas propiedades)



Fuente: Bendtsen, B. A., (1978)

Figura 3 Madera de transición de juvenil a madura en Coníferas (disminución gradual en los valores de algunas propiedades)

Pérez del Castillo (2000) menciona que la madera juvenil presenta importantes diferencias en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y anatómicas con respecto a la madera adulta. En madera libre de defectos, las propiedades que influyen en el comportamiento mecánico son: ángulo microfibrilar, longitud de fibras, densidad, porcentaje de leño tardío, espesor de pared celular y diámetro de lumen celular. La madera juvenil tiene un ángulo microfibrilar alto, lo que puede producir una contracción longitudinal 10 veces mayor que el de la madera adulta normal. Tanto la madera de compresión como el grano espiralado también ocurren con más frecuencia en la madera juvenil, lo que también contribuye a una mayor contracción longitudinal.

La relación madera juvenil / madera adulta es menor para madera de alta calidad (alta resistencia) que para madera de baja calidad, lo que indica que la madera juvenil tiene una importante influencia en la reducción de las propiedades mecánicas de la madera utilizada para la construcción.

En madera estructural, la relación entre la resistencia de la madera juvenil y madera adulta varía entre 0.5 y 0.9 para módulo de rotura en flexión, 0.5 y 0.95 para la tracción y entre 0.45 y 0.75 para módulo de elasticidad (Wood Handbook, USDA, 1999).

Una cantidad sustancial de madera de reacción en un árbol, la cual se presenta en mayor proporción en la región juvenil, contribuye a la carencia de una zona de madera juvenil bien definida. Un estudio con una conífera sureña demostró que la madera juvenil contenía 42 % de madera de reacción en comparación con el 7% que se presentaba alrededor de la madera madura (North Carolina State College, 1957)

La proporción de la madera juvenil dentro de un individuo depende esencialmente de la edad, vigor y desarrollo de la copa. Se añade también que, a igual diámetro, un árbol de crecimiento rápido poseerá más madera juvenil que uno de crecimiento lento (Jozsa y Middleton, 1997).

Según Zhang y Gingras (1998), la presencia de la madera juvenil tiene varios impactos sobre las propiedades de la madera, aumento en la contracción longitudinal que implica mayores riesgos de torceduras y reducciones en rendimientos para la producción de pulpa y papel y propiedades mecánicas. Así el módulo de elasticidad de la flexión estática que contiene madera juvenil puede ser 50-60 % inferior a la madera que no la contiene; la resistencia máxima en tracción paralela a la fibra y cizallamiento, así como la compresión perpendicular al grano disminuyen igualmente con una proporción creciente de madera juvenil.

## B) MADERA DE REACCIÓN

La madera de reacción, es una respuesta gravitacional y su formación tiende a revertir la inclinación del fuste o mantener la posición de una rama (Larson *et. al.*, 2001).

Haygreen (1982) agrega que la madera de reacción formada en latifoliadas y coníferas difieren. En coníferas se denomina madera de compresión y en latifoliadas madera de tensión. Sin embargo en ambas la función de la madera de reacción es la misma: que el tallo o la rama regresen a su posición original.

La madera de tensión es de interés para la tecnología de productos forestales, pues su presencia genera propiedades considerablemente diferentes de aquellas que provienen de madera madura normal. Así en la manufactura de productos con madera sólida existe la presencia de superficies vellosas especialmente cuando se procesa en condición verde, lo que produce sobrecalentamiento de los discos y dificultan su acabado; en el secado se observa que tiende a colapsar irreversiblemente; se contrae excesivamente a lo largo del grano, aunque en menor proporción que la madera de compresión, usualmente es de 1% o menos. Respecto a su resistencia mecánica la mayoría de las mediciones resultaron menores a las de una madera normal de similar densidad, en especial en la resistencia a la compresión paralela al grano. Sin embargo en condición seca al aire, la madera de tensión es ligeramente más resistente al impacto que una madera normal. Este comportamiento contradictorio sugiere ser precavidos cuando la resistencia es un factor importante en estructuras de madera.

Tsoumis (1952) agrega que debido a este comportamiento la madera de tensión debería ser vista con un criterio análogo con respecto a la madera de compresión; es decir evitar su uso en aplicaciones estructurales.

#### 2.6.4 VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Bodig y Jayne (1982) señalan que las propiedades físicas de la madera muestran un inusual grado de variabilidad como consecuencia de su origen natural, precisando que estas variaciones son en parte resultado de las condiciones de crecimiento de los árboles, tales como: clima, suelo, disponibilidad de agua, nutrientes, etc. Además, todas las propiedades de la madera son parcialmente heredables, consecuentemente una porción importante de la variabilidad natural de la madera puede atribuirse a diferencias en el contenido genético.

Para Thibaut (1998), la variabilidad involucra factores experimentales y factores extrínsecos e intrínsecos de la muestra. Los factores experimentales son expuestos sobre la base del manejo de los procedimientos propios de cada ensayo y su respectivo instrumental. Los intrínsecos a la muestra comprenden factores estructurales, físico-químicos e históricos, siendo los factores intrínsecos estructurales determinados por la presencia de duramen, albura, madera juvenil y madera de reacción, los cuales influyen notablemente en la variabilidad de los resultados de los ensayos físico-mecánicos. Asimismo, entre los factores extrínsecos señala la influencia de la topografía, incidencia del sol y población vegetal existente asociada a la muestra en estudio.

Con respecto a la variación de las propiedades físico-mecánicas dentro del árbol, Fachin (1986) menciona, para la *Parkia vetulatina* R. Benth, que existe una disminución de la densidad básica con respecto a la altura del árbol en sentido longitudinal. Por otra parte, con respecto a las propiedades mecánicas, menciona que existe un incremento en los valores de resistencia para la compresión perpendicular, cizallamiento y dureza cuando se incrementa la altura; mientras que para la compresión paralela y flexión estática existe una disminución en sus valores con respecto al incremento de la altura.

Herrera (1987) determinó para la *Cedrelinga catenaeformis* y la *Aspidosperma macrocarpon*, que existen variaciones de la densidad en función de los elementos xilemáticos, habiendo sido demostradas cuantitativamente en sólo un 40.3 - 67.7 %, por lo que recomienda tener en cuenta factores como el efecto de los extractivos y la naturaleza química de la madera para un estudio integral.

## 2.6.5 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

### *A) PROPIEDADES FÍSICAS*

Las propiedades físicas de la madera son aquellas propiedades que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio ambiente normal, sin producir ninguna modificación química en su estructura.

Según Arroyo (1983), todas las propiedades físicas de la madera dependen de los factores que determinan su organización estructural. Estos factores pueden resumirse de la siguiente manera:

- Cantidad de sustancia de la pared celular presente en una muestra cualquiera.
- Cantidad de agua presente en la pared celular.
- Proporción de los componentes primarios en la pared celular y la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas.
- Arreglo y orientación de los materiales en los diferentes tejidos.
- Tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que forman el tejido maderable.

#### a) Densidad Básica

Las diferencias en las propiedades de la madera tienen un efecto importante en la resistencia y utilidad de sus productos sólidos, así como también sobre las características y el rendimiento de la pulpa y los productos del papel (Sparnochia, 1990; Downes *et al.*, 1997).

Entre esas propiedades se destaca la densidad, la cual presenta una gran complejidad, ya que es consecuencia de diferentes factores como son la cantidad de leño de verano, el espesor de las paredes de las fibras, el tamaño de las células y su proporción relativa, y la composición química de la madera (Bonavía de Guth & Piussan, 1987). Por ser, además, un carácter altamente heredable, la densidad ha adquirido gran importancia en la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal, tanto para la producción de fibras, como de productos sólidos (Senisterra *et al.*, 2000).

Zobel (1988) indica que, en términos generales, es factible encontrar madera juvenil en los primeros anillos junto a la médula, asociada a una menor densidad y menor longitud de fibras. La madera madura se encuentra distanciada de la médula y en ella se espera encontrar una estabilización de la densidad, longitud de fibras y otras características asociadas. La variación de la densidad con la altura está ligada a la cantidad de madera juvenil que recorre al árbol axialmente como un cilindro interno desde la base hasta el ápice, siendo las trozas contiguas a la copa las que constan principalmente de madera juvenil, determinándose una menor densidad para ese nivel. Yang *et al.* (1994) determinaron que el valor de las propiedades puede variar ampliamente dentro de un mismo árbol, estando relacionado con el leño producido por distintas edades fisiológicas del cambium.

Arntzen (1994) menciona que la densidad es un índice de los valores de propiedades mecánicas de la madera y que los valores de resistencia mecánica aumentan proporcionalmente con la densidad básica. Larson *et al.* (2001) mencionan que cuando la densidad básica es tomada en valores promedios, ésta va a variar con respecto a su ubicación geográfica, condiciones del lugar y prácticas silviculturas.

En un estudio realizado en plantaciones de *Cedrelinga catenaeformis*, Soudre (2004) refiere que el factor de mayor influencia en los resultados de densidad básica es la edad seguido de la calidad del tipo de suelo, de fisiografía y de regeneración, factores que tienen influencia directa y proporcional en los valores de densidad básica, así como en las contracciones tangencial, radial y volumétrica. Se menciona adicionalmente que bajo un análisis de correlación y regresión se determina que sólo existe asociación y dependencia significativa entre la densidad y contracción tangencial.

Existen diversos estudios realizados en el país y en el extranjero con respecto a las características de la madera del *Alnus acuminata* HBK. Así, Aliaga (1972) y Lastra (1987) evaluaron las propiedades físicas para la madera proveniente del Valle del Mantaro (Huancayo) y de Colombia respectivamente. El cuadro 1 ilustra dichos valores.

Cuadro 1 Valores promedio de las propiedades físicas del *Alnus acuminata* HBK

Propiedad	Unidades	Procedencia	
		Huancayo	Colombia
<b>1. Peso específico</b>			
1.1. Básico	g/cm <sup>3</sup>	0.43	0.35
1.2. Anhidro	g/cm <sup>3</sup>	0.47	0.39
<b>2. Densidad</b>			
2.3. Verde	g/cm <sup>3</sup>	s/i	0.56
2.4. Seco al aire	g/cm <sup>3</sup>	s/i	0.41
<b>3. Contracción</b>			
<b>3.1. Normal (de saturada a seco al aire)</b>			
3.1.1. Radial	%	2.2	2.53
3.1.2. Tangencial	%	3.2	4.36
3.1.3. Volumétrica	%	s/i	7.00
3.1.4. T/R		1.45	1.72
<b>3.2. Total (de saturada a seco al horno)</b>			
3.2.1. Radial	%	4.5	3.9
3.2.2. Tangencial	%	6.1	6.3
3.2.3. Volumétrica	%	11.2	10.4
3.2.4. T/R		1.33	1.61

Fuente: Aliaga (1972) y Lastra (1987)

s/i: sin información.

## B) PROPIEDADES MECÁNICAS

Según Rivera y Lenton (1999), las propiedades mecánicas caracterizan el comportamiento de la madera bajo la aplicación de fuerzas. Este se modifica según sea la clase de fuerza aplicada, la estructura anatómica y el contenido de humedad de la madera ensayada. La pared de las fibras, fundamentalmente la pared secundaria y en ella la capa S2, es de gran interés en la determinación de la resistencia de la madera. La capa S2 es la más gruesa y sus microfibrillas se orientan en forma paralela al eje longitudinal, ofreciendo la máxima resistencia para ciertos tipos de esfuerzos. Arroyo (1983) señala que, además de los factores mencionados, el comportamiento mecánico depende de la temperatura, presencia de nudos e inclinación del grano.

Haygreen (1982) indica que la velocidad de crecimiento puede afectar significativamente la densidad y por lo tanto su resistencia, Particularmente ocurren maderas latifoliadas de porosidad circular y semicircular que tienden a mostrar densidades y dureza crecientes con incremento en la velocidad de crecimiento. Asimismo, enfatizan que crecimientos rápidos a temprana edad no sólo aumentan en la proporción de madera juvenil sino también la madera de reacción.

Durán (2004) refiere que en *Cedrelinga catenaeformis* proveniente de plantaciones, la densidad básica así como las propiedades mecánicas muestran una tendencia directa y proporcional con respecto a la calidad del tipo de fisiografía y de suelo.

Bodig y Jayne (1982) atribuyen las diferencias en las propiedades mecánicas entre madera normal y de tensión a la diferencia en el contenido de celulosa. Ambos autores indican que datos experimentales demuestran que los esfuerzos en compresión paralela y compresión perpendicular al grano, MOR y MOE en flexión estática y cizallamiento en madera de tensión son más bajos que los de madera normal. Respecto a la resistencia a la tensión paralela (tracción) en condición verde de madera tensionada es inferior a la madera normal, sin embargo después del secado, dicha resistencia es similar en ambos casos; esta mejoría puede asociarse a cambios en las propiedades de la capa gelatinosa.

Panshin y De Zeeuw (1970) destacan el defecto “Brashness” (quebradura) que es una condición anormal que causa que la madera se quiebre repentinamente a través del grano en niveles de esfuerzos inferiores a lo esperado. La superficie de falla es relativamente lisa y presenta la estructura de la madera en sección transversal completamente limpia. La característica más inconveniente es la súbita falla sin previa advertencia, especialmente cuando ocurren cargas de choque (tenacidad, flexión dinámica, etc.).

Aróstegui (1982) propone criterios de clasificación para la resistencia mecánica de la madera considerando esfuerzos tales como: flexión estática (MOR), compresión paralela (RM), compresión perpendicular (ELP), dureza (lados) y cizallamiento, muy útiles para la evaluación de la resistencia mecánica de las maderas nacionales.

En relación a estudios sobre las propiedades mecánicas del *Alnus acuminata* HBK se han identificado trabajos de Aliaga (1972) y Lastra (1987), quienes estudiaron a la especie proveniente del Valle de Mantaro (Huancayo) y Colombia respectivamente. En el cuadro 2 se presentan los valores promedio de la especie en mención.

**Cuadro 2** Valores promedio de las propiedades mecánicas del *Alnus acuminata* HBK

Propiedad	Unidades	Procedencia		
		Huancayo	Colombia	
		CH (14%)	CH (30%)	CH (12%)
<b>1. Flexión estática</b>	Kg/cm <sup>2</sup>			
1.1. ELP		355	270	439
1.2. MOR		598	437	611,4
1.3. MOE* 10 <sup>-3</sup>		84,98	77,6	79,9
<b>2. Compresión paralela</b>	Kg/cm <sup>2</sup>			
2.1. ELP		221	144	215
2.2. MOR		330	172	274
2.3. MOE* 10 <sup>-3</sup>		92,406	88	90,6
<b>3. Compresión perpendicular</b>	Kg/cm <sup>2</sup>			
3.1. ELP		61,9	20	36,2
<b>4. Dureza</b>	Kg/cm <sup>2</sup>			
4.1. Extremos		453	204	335
4.2. Lados		379	156	195
<b>5. Cizallamiento</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	90	54,9	68,9
<b>6. Tensión perpendicular</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	49,2	s/i	s/i
<b>7. Clivaje perpendicular</b>	Kg/cm	50,2	s/i	s/i
<b>8. Tenacidad</b>	Kg-m	2,7	2,1	1,9
<b>9. Extracción de clavos</b>	Kg.			
9.1. Extremos		s/i	30,7	45,6
9.2. Radial		s/i	54,8	42,1
9.3. Tangencial		s/i	57,2	44,9

Fuente: Aliaga (1972) y Lastra (1987)

s/i: sin información

#### 2.6.6 TRABAJABILIDAD Y DURABILIDAD

Según la Universidad Distrital de Bogotá (1978), el *Alnus acuminata* HBK es fácil de trabajar y da un buen acabado. Con respecto a la durabilidad, la madera no tiene una alta durabilidad natural, por lo que se recomienda inmunizarla.

#### 2.6.7 SECADO

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1989) menciona que la madera del *Alnus acuminata* HBK se seca fácilmente. No presenta tendencia a deformarse durante la operación de secado. Se recomienda el horario de secado T10-E3 de los Estados Unidos y el F del Grupo Andino.

#### 2.6.8 PRESERVACIÓN

Según Henao (1994), la inmunización o preservación no es dificultosa. Posee absorción alta a preservantes, y su penetración es completa y uniforme. Recomienda usar los tratamientos de baño caliente-frío con sales CCB o Pentaclorofenol, y el de vacío-presión (Bethell) con sales CCB.

#### 2.6.9 USOS ACTUALES Y POTENCIALES

Lastra (1987) menciona que los usos actuales para el *Alnus acuminata* HBK son muebles, cajonería, ebanistería en general, puertas y ventanas. Además, menciona que los usos potenciales para dicha madera son como alma de tableros enlistonados, moldes de fundiciones y formaletas para concreto, y productos moldurados no expuestos al desgaste excesivo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

Las muestras de madera se extrajeron del distrito de Chalaco, provincia de Morropón, departamento de Piura. Dicho distrito está subdividido en 4 micro cuencas, cuya área total es de 15 985,63 ha.

La obtención de datos respecto a las propiedades físicas y la realización de los ensayos mecánicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Tecnología de las Maderas del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.2.1 MATERIALES

###### A) MADERA

La madera utilizada para este estudio corresponde al *Alnus acuminata* H.B.K., cuya edad es de 15 años. La identificación anatómica de la especie se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

*B) MATERIALES DE CAMPO:*

- Motosierra
- Machetes
- Wincha métrica
- Libretas de campo
- Pintura acrílica, y accesorios.

*C) MATERIALES DE GABINETE:*

- Información recopilada
- Materiales de escritorio requeridos.

3.2.2 EQUIPOS

*A) EQUIPOS DE PREPARACIÓN DE PROBETAS:*

- Sierra de cinta
- Sierra circular
- Sierra radial
- Cepilladura
- Garlopa
- Marcadores de madera

## B) EQUIPOS DE LABORATORIO:

- Balanza de precisión
- Estufa eléctrica
- Campanas desecadoras
- Micrómetro
- Prensa Universal “ *Tinius Olsen*”
- Vernier
- Pinzas
- Cámara fotográfica
- Accesorios necesarios para cada ensayo.

## 3.3 METODOLOGÍA

### 3.3.1 SELECCIÓN Y COLECCIÓN DE MUESTRAS

Esta fase se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por las Normas Técnicas Peruanas NTP 251.008 “Selección y colección de muestras”, la cual establece coleccionar muestras de 5 árboles como mínimo para obtener resultados con una seguridad estadística del 95% con intervalos de confianza del 15%.

La selección de los individuos se realizó tomando en cuenta la proporcionalidad del número de individuos a extraer con respecto al área de cada una de las 4 micro cuencas, por lo que se extrajo al azar 1 individuo de la micro cuenca Cerro Negro con 2952.39 ha, 1 individuo de la micro cuenca Los Potros con 1357.65 ha, 1 individuo de la micro cuenca Mijal con 2342.52 ha y 3 individuos de la micro cuenca Nogal con 9333.07 ha. Cabe resaltar que se seleccionaron sólo 5 de los individuos totales extraídos, los cuales presentaban un mejor estado para la realización del estudio.

#### *A) CARACTERÍSTICAS DE SITIO*

##### a) Chalaco

###### Generales:

- Ubicación: distrito de Chalaco, provincia de Morropón, departamento de Piura (ver figura 4).
- Área del distrito: 15985,63 ha.
- Área de las micro cuencas que conforman el distrito: Cerro negro: 2952.39 ha, Los Potros: 1357.65 ha, Mijal: 2342.52 ha y Nogal: 9333.07 ha.

###### Ecología:

- Altitud media: 1900 msnm.
- Fisiografía: ondulada moderada a pronunciada.
- Zona de Vida: Bosque húmedo Montano bajo Tropical.
- Precipitación media anual: 1400 mm.
- Temperatura media anual: 18 grados centígrados.
- Tipo de regeneración: artificial (campo cerrado).

Suelo:

- Textura: Los suelos van de francos a franco arenosos y franco arcillosos.
- Reacción: Ph =5,29; 5,88; 5,30. Ácidos en general.
- Drenaje: bueno a moderado.

b) Valle del Mantaro

Ecología:

- Altitud media: 3200 msnm.
- Fisiografía: ondulada moderada
- Precipitación media anual: 80 mm.
- Temperatura media anual: 11.79 grados centígrados.
- Tipo de regeneración: natural (campo abierto).

Suelo:

- Textura: franco limoso.
- Reacción: ácido a neutro.
- Drenaje: bueno.



Figura 4 Ubicación del área de estudio: Chalaco-Piura

### B) CARACTERÍSTICAS DE LOS INDIVIDUOS SELECCIONADOS

Se obtuvo las características correspondientes a los individuos seleccionados, sobre la base del diámetro a la altura del pecho, altura comercial y altura total. En el cuadro 3 se detallan dichos valores.

Cuadro 3 Características de individuos seleccionados

Procedencia	Árbol	DAP (cm.)	Altura comercial (m.)	Altura total (m.)	Calidad de fuste
Chalaco	1	33,76	8	14	Sinuoso
	2	36,68	9	15	Recto
	3	32,28	8	13	Recto
	4	35,3	8,5	14	Sinuoso
	5	29,79	7,5	12	Recto
Huancayo	1	31,4	8,5	14	Recto

### 3.3.2 PROCESAMIENTO DE TROZAS

Dentro del proceso de selección y colección de las muestras, se obtuvieron 2 trozas para cada uno de los 5 árboles, debido a las longitudes y calidad de los fustes, generándose trozas correspondientes a las partes basales y apicales de cada árbol, codificadas con las letras A y B respectivamente.

Las trozas fueron selladas en los extremos con pintura metálica para mantener el contenido de humedad requerido para el estudio. Posteriormente, dichas trozas fueron transformadas en tabloncillos, los cuales tendrían que ser orientados de una manera adecuada para satisfacer lo señalado por las normas correspondientes para las probetas de ensayo.

### 3.3.3 ENSAYOS REALIZADOS

#### *A) PROPIEDADES FÍSICAS*

Las propiedades físicas que se obtuvieron fueron el contenido de humedad, densidades y contracciones totales, siguiendo los lineamientos de las siguientes Normas Técnicas Peruanas:

Norma NTP 251.010: Método de determinación del Contenido de humedad.

Norma NTP 251.011: Método de determinación de la densidad.

Norma NTP 251.012: Método de determinación de la Contracción.

## *B) PROPIEDADES MECÁNICAS*

Para la obtención de las propiedades mecánicas resultaron de la aplicación de los procedimientos correspondientes a las siguientes Normas Técnicas Peruanas, con probetas en condición saturada:

Norma NTP 251.013: Método de determinación del Cizallamiento paralelo al grano.

Norma NTP 251.014: Método de determinación de la Compresión paralela al grano.

Norma NTP 251.015: Método de determinación de la Dureza.

Norma NTP 251.016: Método de determinación de la Compresión perpendicular.

Norma NTP 251.017: Método de determinación de la Flexión estática.

Norma NTP 251.018: Método de determinación de la Tenacidad.

Norma NTP 251.019: Método de determinación del Clivaje.

Norma NTP 251.036: Método de determinación de la Extracción de Clavos.

Norma NTP 251.086: Método de determinación de la Tracción perpendicular al grano.

### 3.3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

#### *A) DE LA MADERA PROVENIENTE DE CHALACO*

Los datos fueron ordenados mediante el programa Microsoft Excel y procesados mediante el programa estadístico SAS System, de los cuales se obtuvieron los resultados para cada ensayo y las variables estadísticas que ayudaron al análisis del estudio.

Los resultados estadísticos incluyen promedios, rangos, coeficientes de variabilidad y desviaciones estándar, teniendo en cuenta el porcentaje de confiabilidad establecido. Asimismo, para cada uno de los ensayos físicos y mecánicos se realizó un análisis de variancia y las pruebas estadísticas de Duncan y Tukey.

Además, para cuantificar la influencia de la densidad básica en los cambios dimensionales se realizó el análisis de regresión y correlación correspondiente.

#### *B) DE LA EVALUACIÓN COMPARATIVA CON LA MADERA PROVENIENTE DEL VALLE DEL MANTARO*

Para realizar este estudio comparativo se decidió seleccionar y coleccionar una muestra de 15 años de edad de la especie proveniente del Valle de Mantaro para determinar sus propiedades físico-mecánicas en condición verde, pues las determinaciones mecánicas realizadas por Aliaga (1972) se hicieron a un contenido de humedad de 14 %; diferencia de humedad muy alta para realizar los ajustes por el método de porcentajes (ver anexo11), lo cual distorsionaría la evaluación comparativa.

La muestra permitirá disponer de información en la condición verde, la cual ayudará a corroborar los valores promedio generados por Aliaga (1972), con la finalidad de inferir su resistencia en comparación a la especie en estudio, para cuyo efecto se seleccionó un árbol representativo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

#### 4.1.1 *ALNUS ACUMINATA* HBK DE CHALACO-PIURA

En el cuadro 4 se presentan los valores promedios, rangos y coeficientes de variabilidad entre y dentro del árboles para las propiedades físicas estudiadas. Debe indicarse que la densidad en condición verde se determinó a una humedad promedio de 66.7 %, la obtenida seca al aire al 13.6 %, mientras que la contracción normal ocurre en el rango de humedad de 30 % a 13.6 %.

**Cuadro 4** Valores promedio y de dispersión para las propiedades físicas del *Alnus acuminata* HBK de Piura.

Propiedad	Promedio	Rango		CV %		
		Mínimo	Máximo	Entre árboles	Dentro del árbol	Total
<b>1. Peso específico</b>						
<i>1.1. Básico</i>	0,37	0,31	0,47	4,18	7,71	8,41
<i>1.2. Anhidro</i>	0,42	0,35	0,53	4,58	8,14	8,76
<b>2. Densidad</b>						
<i>2.1. Verde</i>	0,62	0,50	0,74	3,29	7,95	8,48
<i>2.2. Seca al aire</i>	0,45	0,38	0,57	4,31	7,66	8,36
<b>3. Contracciones (%)</b>						
<b>3.1. Normal</b>						
<i>3.1.1. Tangencial</i>	5,11	0,71	8,53	12,66	24,83	26,81
<i>3.1.2. Radial</i>	2,80	0,55	6,84	9,04	40,53	40,86
<i>3.1.3. Longitudinal</i>	0,16	0	1,11	130,35	246,83	173,92
<i>3.1.4. Volumétrica</i>	6,19	4,12	12,79	14,13	15,30	20,99
<b>3.2. Total</b>						
<i>3.2.1. Tangencial</i>	7,92	3,28	12,26	9,14	19,09	20,60
<i>3.2.2. Radial</i>	4,45	1,15	9,47	4,40	33,20	34,30
<i>3.2.3. Longitudinal</i>	0,32	0	0,77	23,74	70,29	66,47
<i>3.2.4. Volumétrica</i>	10,62	5,57	17,30	9,17	14,54	17,01

La densidad básica promedio de  $0.37 \text{ gr./cm}^3$  permite clasificarla, de acuerdo a lo propuesto por Aróstegui (1982), dentro del grupo 2 ( $0.3 - 0.4 \text{ gr./cm}^3$ ) que corresponde a madera de baja densidad. Su coeficiente de variabilidad es de 8.41 %, valor inferior a los recomendados por Wood Handbook (1999).

La contracción volumétrica total promedio de 10.62 % la ubica dentro del grupo 3 (10.1-13 %), que corresponde a un cambio dimensional medio. Sin embargo, los coeficientes de variabilidad totales para las contracciones radial, tangencial y volumétrico son superiores a lo recomendados por Wood Handbook (1999), comportamiento que puede atribuirse a factores intrínsecos estructurales de la madera (Thibaut, 1998), los cuales se manifiestan en mayor proporción en los árboles 1 y 4, cuyos detalles se muestran en el anexo 9.

Es importante destacar el comportamiento de la especie en la contracción longitudinal total; si bien el valor promedio es aproximadamente 0.32 % y su rango va de 0 % a 0.77 %, este amplio rango explicaría su alto coeficiente de variabilidad total (66.47 %), diferencia que puede estar influenciada por la probable presencia de madera juvenil y de tensión. Lo expresado es sustentado por Pérez del Castillo (2000), al mencionar que la madera de tensión ocurre con más frecuencia en la madera juvenil, lo que contribuye a una mayor contracción longitudinal y por North Carolina State College (1957) que encontró que la región de madera juvenil contendría 42 % de madera de reacción en comparación con el 7% que se presentaría en la madera madura.

El análisis de variancia y las pruebas de significancia entre los niveles basal y superior no presentan diferencias significativas para ninguna de estas propiedades. El anexo 2 muestra los detalles.

#### 4.1.2 EVALUACIÓN DEL *ALNUS ACUMINATA* HBK PROCEDENTE DE PIURA Y HUANCAYO

En el cuadro 5 se presenta los valores promedios de las propiedades físicas del *Alnus acuminata* HBK procedentes de Piura y Huancayo. Asimismo, la figura 5 ilustra estas propiedades (2004). Desde el punto de vista de las características de sitio, teniendo en cuenta lo expresado por la National Academy of Sciences (1980) y Rojas *et al* (1991), el Valle del Mantaro presentaría mejores condiciones para el desarrollo de la especie en estudio.

Con respecto a los resultados cuantitativos obtenidos, específicamente la densidad básica y cambios dimensionales al nivel del muestreo realizado, se evidencia que la proveniente del Valle del Mantaro posee mayor cantidad de materia seca por unidad de volumen saturado; así la madera de Chalaco-Piura posee en promedio 370 Kg. de materia seca por m<sup>3</sup> de volumen saturado, mientras que la madera del Valle del Mantaro presentan 410 Kg./m<sup>3</sup> para los árboles de 15 años y 430 Kg./m<sup>3</sup> para los árboles de 30 años. Además, esta última presenta una menor relación T/R y en consecuencia mejor estabilidad dimensional, características que indican mejores condiciones para su secado natural y artificial.

**Cuadro 5** Valores promedios de las propiedades físicas del *Alnus acuminata* HBK obtenidas para Piura y Huancayo

Propiedades físicas	Procedencia		
	Piura	Huancayo *	
	15 años	15 años	30 años
<b>1. Peso específico</b>			
1.1. Básico	0,37	0,41	0,43
1.2. Anhidro	0,42	0,46	0,47
<b>2. Contracción total</b>			
2.1. Radial	4,44	4,29	4,50
2.2. Tangencial	7,91	8,25	6,10
2.3. Longitudinal	0,32	0,23	s/í
2.4. Volumétrica	10,61	10,89	11,20
2.5. T/R	2,08	1,94	1,36

\* Valores provenientes de un árbol

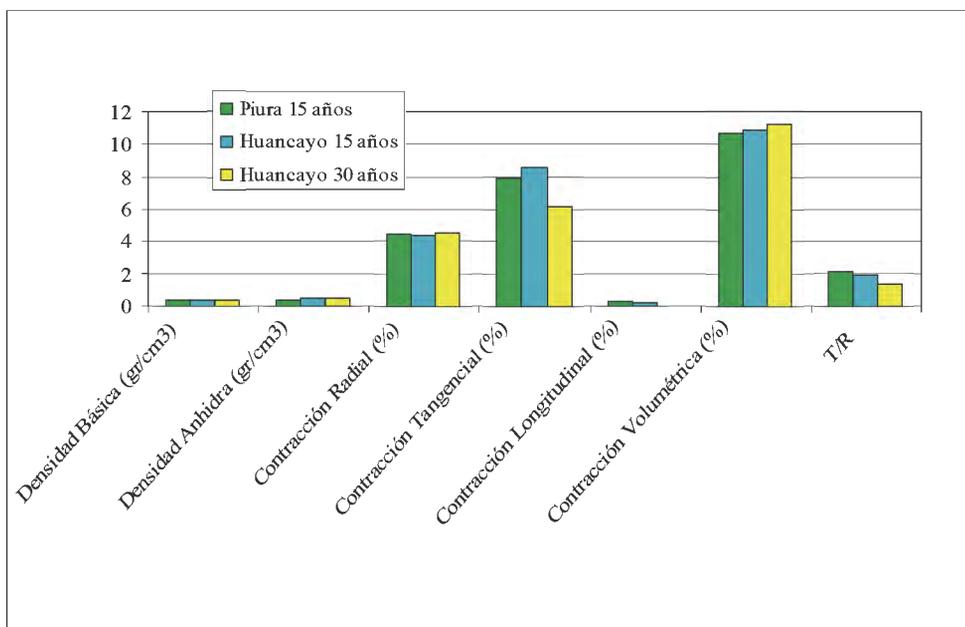


Figura 5 Comparación de las propiedades físicas obtenidas para Piura y Huancayo

#### 4.1.3 DENSIDAD BÁSICA Y CAMBIOS DIMENSIONALES TOTALES

La literatura científica indica que la densidad básica es un indicador de los cambios dimensionales y de la resistencia de la madera; sin embargo, en este estudio, los análisis de regresión y correlación indican que no existe dependencia significativa. Es probable que los altos coeficientes de variación en las contracciones por la posible influencia de la madera de tensión en los árboles 1 y 4 ajusten esta relación.

#### 4.1.4 COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS CON ESPECIES DE SIMILAR DENSIDAD BÁSICA

El *Alnus acuminata* HBK de Piura, al compararse con especies de similar densidad, *Simarouba amara* Aubl (Marupá) y *Spondias mombin* L (Ubos), se aprecia que los valores promedio de la contracción radial, tangencial y volumétrica son superiores, incluso a la *Cedrela montana* procedente de Satipo, que presenta una densidad básica superior (0.42). Sólo es inferior en contracción volumétrica a la *Cedrela odorata* procedente de Satipo, la cual es propensa al colapso (Túllume, 2000). La figura 6 ilustra estas apreciaciones

En consecuencia, la especie en estudio presenta un mayor cambio dimensional o inestabilidad, y un comportamiento más heterogéneo, lo cual es demostrado por sus altos valores de coeficiente de variabilidad, características que deben tomarse en cuenta al realizar el secado de la madera.

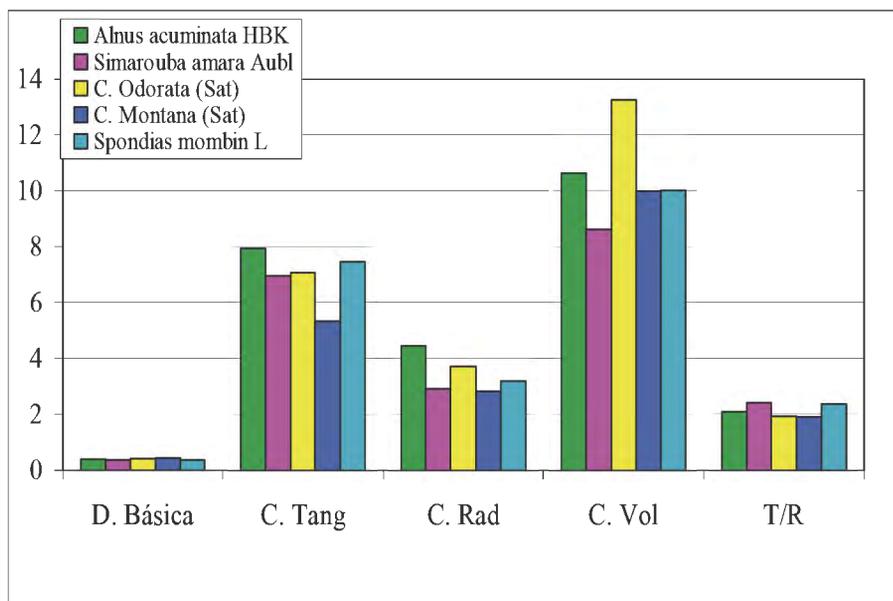


Figura 6 Comparación de las propiedades físicas con aquellas de especies de similar densidad

Fuente: Aróstegui (1982), Túllume (2000) y Guevara (1988)

## 4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.2.1 *ALNUS ACUMINATA* HBK DE CHALACO-PIURA

En el cuadro 6 se presentan los valores promedio, rangos y coeficientes de variabilidad entre y dentro de árboles para las propiedades mecánicas, estudiadas en condición verde.

En flexión estática, los valores de resistencia al límite proporcional (ELP) y módulo de ruptura (MOR) para los dos niveles de estudio no presentan diferencias estadísticamente significativas y sus coeficientes de variación están en los niveles permisibles; mientras que su comportamiento en rigidez, estimado por el módulo de elasticidad (MOE), sí se encontró diferencias significativas entre el nivel A (42 804,9 Kg. /cm<sup>2</sup>) y en nivel B (56 776,7 Kg. /cm<sup>2</sup>); presentando coeficientes de variabilidad similares, pero ligeramente superiores al 22 % propuesto por Word Handbook (1999).

En la diferencia significativa entre los niveles A y B para el módulo de elasticidad y coeficientes de variabilidad ligeramente altos, es probable que la madera de tensión contribuya a la ocurrencia de estos resultados.

Se acota que las fallas más frecuentes en este ensayo se presentaron como quebraduras, lo cual se observa en la figura 7, y sobre la base de lo expuesto por Panshin y De Zeeuw (1970), el defecto “Brashness” (quebradura) causaría que la madera se quiebre a niveles de esfuerzos inferiores a lo esperado.



**Figura 7** Falla en Flexión estática

Cuadro 6 Valores promedio y de dispersión para las propiedades mecánicas del *Alnus acuminata* HBK de Piura (condición saturada)

Propiedades	Promedio	Rango		CV %		
		Mínimo	Máximo	Entre árboles	Dentro del árbol	Total
<b>Flexión Estática (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>ELP</i>	185,50	109,00	258,37	14,30	21,10	22,66
<i>MOR</i>	347,17	194,43	450,09	13,24	15,73	18,58
<i>MOE* 10<sup>3</sup></i>	49,79	27,80	82,34	8,51	30,20	28,97
<b>Compresión Paralela (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>ELP</i>	107,29	63,13	153,22	13,15	17,33	20,41
<i>RM</i>	139,74	109,72	184,40	10,15	10,59	13,59
<i>MOE* 10<sup>3</sup></i>	71,57	34,59	110,01	12,76	27,36	27,83
<b>Compresión perpendicular (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>ELP</i>	18,64	10,32	36,88	31,86	20,90	36,74
<b>Dureza (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>Extremos</i>	211,28	149,49	312,57	31,90	11,05	40,08
<i>Radial</i>	212,46	158,55	356,06	21,26	19,09	46,33
<i>Tangencial</i>	226,21	140,43	391,39	23,35	16,04	41,54
<b>Extracción de clavos (Kg)</b>						
<i>Extremos</i>	58,05	27,63	72,71	22,09	14,43	36,62
<i>Radial</i>	79,35	46,66	122,54	42,23	21,93	62,16
<i>Tangencial</i>	71,91	35,79	114,38	39,91	18,63	54,45
<b>Tensión perpendicular (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>Radial</i>	28,15	17,15	60,33	25,74	23,10	36,39
<i>Tangencial</i>	34,65	21,08	45,59	8,48	18,43	19,16
<b>Cizallamiento (<math>Kg/cm^2</math>)</b>						
<i>Radial</i>	48,30	25,78	63,40	14,62	16,83	20,27
<i>Tangencial</i>	63,61	46,18	69,88	7,70	6,92	10,34
<b>Clivaje (<math>Kg/cm</math>)</b>						
<i>Radial</i>	29,49	21,43	45,16	14,76	13,52	19,06
<i>Tangencial</i>	38,84	26,81	49,86	10,55	12,12	14,73
<b>Tenacidad (kg-m)</b>						
<i>Radial</i>	1,82	0,00	4,55	84,26	87,72	91,40
<i>Tangencial</i>	1,44	0,08	4,48	79,28	51,70	97,44

En compresión paralela, los valores obtenidos para el esfuerzo al límite proporcional (ELP) y resistencia máxima (RM) no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los niveles A y B, los coeficientes de variabilidad correspondientes presentan valores menores a los máximos permitidos por Wood Handbook (1999) y el esfuerzo al límite proporcional es cerca del 77 % del valor promedio de la resistencia máxima. Contrariamente a lo que ocurre en flexión estática, en este módulo de elasticidad no hay diferencias significativas entre los niveles A y B, y el coeficiente de variabilidad es inferior al máximo permisible (29 %).

En compresión perpendicular, igualmente no hay diferencias significativas entre los niveles A (20,63 Kg. /cm<sup>2</sup>) y B (16,64 Kg. /cm<sup>2</sup>), pero el coeficiente de variabilidad (36,74 %) es muy superior al máximo permitido (28 %).

Las seis propiedades mecánicas restantes evalúan el comportamiento anisotrópico de la madera de esta especie y su comportamiento en los niveles A y B, así:

- En tenacidad, el análisis de los valores obtenidos muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles A (2,06 Kg.-m) y B (1,4 Kg.-m) y ni en sentido radial (2,01 Kg.-m) y tangencial (1,44 Kg.-m), pero los coeficientes de variabilidad son cerca de 3 veces superiores al máximo permitido (34 %). Estos resultados permiten adoptar un sólo valor promedio de 1,63 Kg.-m para la especie estudiada. Se acota que las fallas más frecuentes en este ensayo se presentaron como quebraduras, lo cual se observa en la figura 8, y sobre la base de lo expuesto por Haygreen (1982), se implica a la presencia de madera de tensión en los casos de menor resistencia a la fuerza ejercida.



**Figura 8** Falla en Tenacidad

- En dureza, el análisis de los valores obtenidos indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre lados y extremos, pero sí entre los niveles A y B. Por ello la dureza para el nivel A puede considerarse como 235,2 Kg., y para el nivel B 199,5 Kg. Sin embargo, los coeficientes de variabilidad son 2,4 a 2,7 veces superiores al máximo permitido.
- En relación a extracción de clavos, el análisis de los valores obtenidos indican que estadísticamente existen diferencias significativas entre lados y extremos, así como entre los niveles A y B. En consecuencia, los valores promedio para los lados es de 75,6 Kg. y para extremos de 58,1 Kg.; mientras que para el nivel A puede considerarse como 83,2 Kg. para los lados y 62,4 para extremos, y para el nivel B 67,4 Kg. y 55, 3 Kg. para lados y extremos respectivamente.

- Los esfuerzos mecánicos en Clivaje, Tensión perpendicular y Cizallamiento muestran comportamientos anisotrópicos significativos estadísticamente, pero comportamiento similar entre los niveles A y B. Respecto a los coeficientes de variabilidad en esfuerzo tangencial para la Tensión perpendicular y Cizallamiento son inferiores a al máximo permitido por Wood Handbook (1999), mientras que para el esfuerzo en sentido radial ocurre lo contrario. En el cuadro 6 se muestran los valores promedio para las propiedades mecánicas mencionadas. Las figuras 9, 10 y 11 ilustran las fallas que se presentaron. Nótese que su ocurrencia genera para el ensayo de Tensión perpendicular y Cizallamiento, áreas ligeramente superiores a lo esperado. En Clivaje sucede algo similar.



**Figura 9** Falla en Tensión Perpendicular



**Figura 10** Falla en Cizallamiento



**Figura 11** Falla en Clivaje

Finalmente, esta especie puede catalogarse como una madera de baja resistencia y por lo tanto el Grupo II, de acuerdo a los criterios de resistencia propuestos por Aróstegui (1982). Asimismo, cabe mencionar que los altos coeficientes de variabilidad se deben esencialmente a los factores estructurales descritos por Thibaut (1998).

**Cuadro 7** Clasificación de la madera del *Alnus acuminata* HBK de Piura, según Aróstegui (1982)

Propiedades	Clasificación	
	Baja	Media
1. Flexión estática (MOR)	X	
2. Compresión paralela (RM)	X	
3. Compresión perpendicular (ELP)	X	
4. Dureza (lados)	X	
5. Cizallamiento		
5.1. Radial	X	
5.2. Tangencial		X

#### 4.2.2 EVALUACIÓN DEL *ALNUS ACUMINATA* HBK PROCEDENTE DE PIURA Y HUANCAYO

En el cuadro 8 se presentan los valores promedio de las propiedades mecánicas del *Alnus acuminata* HBK procedente de Chalaco-Piura y del Valle del Mantaro-Huancayo. En la figura 12 se ilustran dichos valores.

Cuadro 8 Comparación de las propiedades mecánicas del *Alnus acuminata* HBK de 15 años en condición saturada de Piura y Huancayo.

Propiedades mecánicas	Unidades	Procedencia	
		Piura	Huancayo
1. Flexión Estática	kg/cm <sup>2</sup>		
1.1. ELP		185,50	261,94
1.2. MOR		347,17	457,37
1.3. MOE * 10 <sup>-3</sup>		49,79	59,57
2. Compresión Paralela	kg/cm <sup>2</sup>		
2.1. ELP		107,29	131,14
2.2. RM		139,74	163,39
2.3. MOE* 10 <sup>-3</sup>		71,57	72,23
3. Compresión perpendicular	kg/cm <sup>2</sup>		
3.1. ELP		18,64	14,67
4. Dureza (lados)	Kg	216,65	267,50
5. Extracción de clavos (lados)	Kg	75,63	107,20
6. Tensión perpendicular	kg/cm <sup>2</sup>	31,39	24,48
7. Cizallamiento	kg/cm <sup>2</sup>	55,95	62,64
8. Clivaje	kg/cm	34,17	21,34

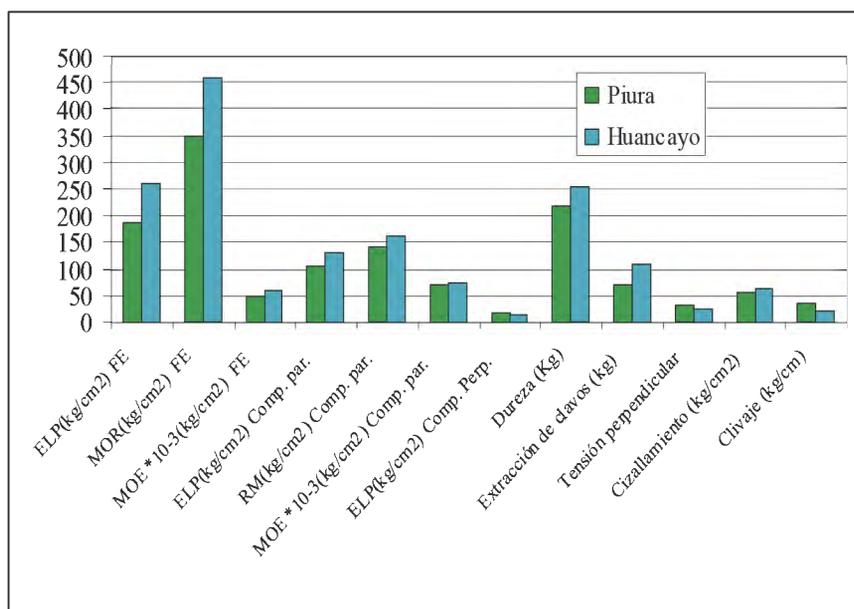


Figura 12 Comparación de las propiedades mecánicas obtenidas para Piura y Huancayo (Condición saturada)

Desde el punto de vista de las características de sitio para el *Alnus acuminata* HBK señaladas por la National Academy of Sciences (1980) y Rojas *et al.* (1991), así como las peculiaridades de Chalaco-Piura y del Valle del Mantaro, se denota que ambos lugares poseen condiciones favorables para el desarrollo de esta especie. Así, la zona de Chalaco posee menor altitud y mayor precipitación anual, teniendo su suelo franco-limoso mayor capacidad de retención de nutrientes. Un análisis integral requiere un muestreo apropiado que incluyen, entre otros, el conocimiento de la composición de nutrientes y calidad genética de la especie por medio de las semillas.

Los valores promedio del cuadro 8 indican que, en flexión estática, compresión paralela (esfuerzo al límite proporcional y resistencia máxima), dureza (lados), extracción de clavos y cizallamiento, el comportamiento del Aliso de Huancayo es mejor; mientras que en las otras propiedades lo es el Aliso procedente de Piura. Sin embargo, ambos se clasifican como madera de baja resistencia presentando la madera procedente de Huancayo mejor homogeneidad. Es evidente que la posible presencia de madera de tensión tendría influencia en estos resultados (Haygreen, 1982).

#### 4.2.3 COMPARACIÓN CON ESPECIES TROPICALES DE SIMILAR DENSIDAD BÁSICA

##### A) PROPIEDADES MECÁNICAS

Al compararse los valores del *Alnus acuminata* HBK de Piura con especies tropicales de similar densidad (figura 13), como son: *Simarouba amara* Aubl (Marupá), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Cedrela montana* (Cedro de montaña) provenientes de Satipo, *Cedrela odorata* (Cedro) proveniente de Colombia y *Spondias Bombin* L (Ubos), se determinó que la mayoría de los valores de las propiedades mecánicas son inferiores. Ello se debe probablemente a la presencia de madera juvenil y de tensión (Haygreen, 1982).

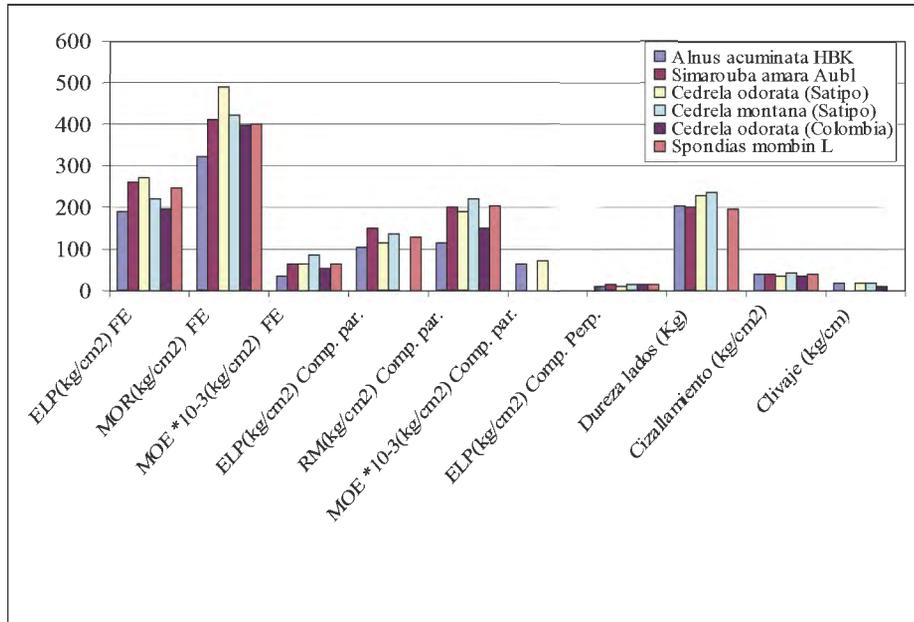


Figura 13 Comparación de las propiedades mecánicas con aquellas de especies tropicales de similar densidad

Fuente: Aróstegui (1982), Túllume (2000) y Guevara (1988)

### B) APTITUDES DE USO

Aróstegui (1982) propone aptitudes de uso para cada una de las especies tropicales antes mencionadas, las cuales se precisan en el cuadro 9. Teniendo en consideración que todas las especies están clasificadas como de baja resistencia, es posible que la presencia de madera juvenil y de tensión en el *Alnus acuminata* HBK y su conocida baja durabilidad natural, los posibles usos para la especie en estudio son: tejas debidamente preservadas, carpintería de obra no estructural, mueblería y cajonería liviana.

**Cuadro 9** Usos actuales de las especies con densidad básica similar a la del *Alnus acuminata* HBK procedente de Piura.

NOMBRE CIENTIFICO	Carpintería de obra	Mueblería	Ebanistería	Laminado	Chapas decorativas	Cajonería liviana	Artesanía
<i>Simarouba amara</i> Aubl	X	X		X		X	
<i>Spondias mombin</i> L	X	X		X		X	
<i>Cedrela montana</i>	X		X		X		X
<i>Cedrela odorata</i>	X			X			

Fuente: Aróstegui (1982)

## 5. CONCLUSIONES

Considerando el nivel de muestreo realizado, se llega a las siguientes conclusiones:

- 5.1. Los resultados de densidad básica, contracciones totales y resistencias mecánicas, evidencia que el *Alnus acuminata* HBK procedente de Piura se clasifica como baja, en dichas categorías.
- 5.2. La densidad básica y contracciones totales del *Alnus acuminata* HBK procedente de Piura no poseen diferencias significativas entre los niveles basal y apical del árbol.
- 5.3. No existe dependencia significativa entre la densidad básica del *Alnus acuminata* HBK proveniente de Piura y las contracciones totales del mismo.
- 5.4. Los valores para el Módulo de elasticidad (MOE) en Flexión Estática, Dureza y Extracción de Clavos poseen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles basal y apical del árbol.
- 5.5. La aptitud de uso de esta especie procedente de Piura son: tejas debidamente preservadas, carpintería de obra no estructural, artesanía, mueblería y cajonería liviana.
- 5.6. La madera del *Alnus acuminata* HBK proveniente de Chalaco-Piura es más heterogénea y de menor calidad que la procedente del Valle del Mantaro.
- 5.7. La mayor homogeneidad de la fisiografía y el mejor comportamiento del tipo de suelo del Valle del Mantaro determinarían una mejor conducta de las propiedades físico-mecánicas del *Alnus acuminata* HBK.

## 6. RECOMENDACIONES

- 6.1 Realizar estudios anatómicos para el *Alnus acuminata* HBK procedente de Piura con la finalidad de determinar con exactitud la influencia de factores intrínsecos estructurales de la madera como madera juvenil y madera de tensión.
- 6.2 Continuar con el estudio de la madera del *Alnus acuminata* HBK proveniente de Piura con respecto a su comportamiento en los procesos de secado y preservado de la madera.
- 6.3 Evaluar las propiedades físico-mecánicas de la población del *Alnus acuminata* HBK de Piura, a diferentes edades y procedencias, para determinar su edad de madurez y corroborar así las conclusiones dadas en el presente estudio.
- 6.4 Elaborar un plan silvicultural, para las plantaciones del *Alnus acuminata* HBK de Piura, que mejore su homogeneidad y calidad adecuada de los árboles para fines específicos.
- 6.5 Finalmente, se recomienda realizar mayor número de ensayos físico-mecánicos para las diferentes micro cuencas que conforman el distrito de Chalaco, para así determinar la influencia de las características de sitio, propias de cada micro cuenca, en los valores de densidad, cambios dimensionales y resistencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, M. 1973. Propiedades físico-mecánicas y resistencia al cizallamiento de la línea de cola de la *Tabebuia capitata* Sandw. Tesis Ing. Forestal: Lima, PE, UNALM. p. 104-108.
- Acevedo, M.; Kikata, Y. 1994. Atlas de Maderas del Perú. Lima, PE, UNALM: Nagoya University. 107 p.
- Aliaga, P. 1972. Propiedades físico mecánicas del *Alnus jorullensis* HBK del Valle del Mantaro. Tesis Ing. Forestal: Huancayo, PE, Universidad Nacional del Centro del Perú. p.13-15.
- Arntzen, C. 1994. Ed. encyclopaedia of agricultural science. Florida, US, Academic press. p. 549-561. (vol 4).
- Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, PNUD-FAO. p. 33 y 57. (Documento de trabajo N° 2).
- Arroyo, J. 1983. Propiedades físico mecánicas de la madera, texto para estudiantes de ingeniería forestal. Mérida, VE, Universidad de los Andes. p. 19-20 y 57.
- Bendtsen, B. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. For. Prod. j. 28(10): 69-72.

- Bodig, J.; Jayne, B. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van nostrand reinhold Co. Inc. New York, US. 712 p.
- Bonavía de Guth, E.; Piussan, C. 1987. Variación de las características del leño del individuo en *salix nigra* cultivado en el delta del paraná. Simposio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales. Buenos Aires, AR, Centro de investigaciones y experiencias forestales. p. 219-235.
- Carlson, P.; Dawson, J. 1985. Soil nitrogen changes, early growth, and response to soil internal drainage of a plantation of *Alnus jorullensis* in the colombian highlands. Turrialba, CR. 35 (2): 141-150
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1986. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central. Turrialba, CR, CATIE. 51 p.
- \_\_\_\_\_. 1995. Jaúl (*Alnus acuminata* ssp. *arguta*). Especie de árbol de uso múltiple en américa central. Turrialba, CR, CATIE. 40 p. (Colección de guías silviculturales 18. Serie técnica. Informe técnico 248).
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, CO). 1996. Latifoliadas Zona Alta. Bogotá, CO, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. 36 p.
- Downes, G.; Hudson, I.; Raymond, C.; Dean, A.; Michell, A.; Schimleck, L., Evans, R.; Muneri, A. 1997. Sampling eucalypts for wood and fibre properties. Csiro publishing. AU. 132 p.

- Durán, P. 2004. Evaluación de las propiedades mecánicas de la madera de "*Cedrelinga catenaeformis*" provenientes de las plantaciones con respecto a 4 factores de crecimiento. Tesis Ing Forestal: Lima, PE, UNALM. p. 71- 72.
- Fachin, C. 1986. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y su variación en el tronco de la *parkia vetulatina* r. benth en los bosques de la plantación de Jenaro Herrera. Tesis Ing Forestal: Iquitos, PE, UNAP. 98 p.
- Furlow, JJ. 1977. Betulaceae in: Burger, W. Flora costaricensis. fieldiana: *botany*40-56-58.
- Furlow, JJ. 1979. The systematics of the american species of alnus (betulaceae). *rhodora* 81 (825): 1-121.
- Guevara, M. 1988. Experiencias colombianas en *Cedrela odorata* L. Bogotá, CO, Corporación nacional de investigación y fomento forestal. 86 p. (serie documentación n° 12)
- Haygreen, J.; Bowyer, J. 1982. Forest products and wood science. Iowa, US, Iowa State University. p. 105-130.
- Henao, A. 1994. Descripción anatómica, propiedades físico-mecánicas y preservación del aliso. Tesis Ing Forestal: Bogota, CO, Universidad Nacional de Colombia. 112 p.
- Herrera, Z. 1987. Interrelación entre la densidad básica y las características anatómicas en tornillo (*cedrelinga catenaeformis*) y pumaquiro (*aspidosperma macrocarpon*). Tesis Magíster Scientiae: Lima, PE. p. 169-177.

Holdridge, L.R. 1951. The alder, *Alnus acuminata*, as a farm timber tree in Costa Rica. *Caribbean Forester* 12(2): 47-57.

INDECOPI (Instituto Nacional de la Defensa de la Competencia y de la Protección Intelectual). 1980. Selección y colección de muestras NTP 251.008: Of. (1980). Lima, PE. 6 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación del contenido de humedad NTP 251.010: Of. (1980). Lima, PE. 7 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la densidad NTP 251.011: Of. (1980). Lima, PE. 7 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la contracción NTP 251.012: Of. (1980) Lima, PE. 6 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano NTP 251.013: Of. (1980). Lima, PE. 6 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la compresión paralela al grano NTP 251.014: Of. (1980). Lima, PE. 3 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la dureza NTP 251.015: Of. (1980). Lima, PE. 4 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la compresión perpendicular NTP 251.016: Of. (1980). Lima, PE. 5 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la flexión estática NTP 251.017: Of. (1980).  
Lima, PE. 8 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la tenacidad NTP 251.018: Of. (1980). Lima,  
PE. 5 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación del clivaje NTP 251.019: Of. (1980). Lima, PE.  
4 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la extracción de clavos NTP 251.036: Of.  
(1980). Lima, PE. 6 p.

\_\_\_\_\_. 1980. Método de determinación de la tracción perpendicular al grano NTP  
251.086: Of. (1980) Lima, PE. 3 p.

Jozsa, L. ; Middleton, G 1997. Les caractéristiques déterminant la qualité du bois : nature et  
conséquences pratiques. CA. Frintek Canada Corp. Publication spéciale sp-34f. 42 p.

JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1989. Manual del grupo andino para el secado de  
maderas PADT-REPORT. Lima, PE. 294 p.

Larson, P.; Kretchmann, D.; Clark, A.; Isebrands, J. 2001. Formation and Properties of  
juvenile wood in southern pines: a synopsis. Forest products laboratory. 42 p.

Lastra, J. 1987. Compilación de las propiedades físico-mecánicas y usos potenciales de 178  
maderas de Colombia. Bogotá, CO. 74 p. (Libro técnico nº 1).

- Missouri botanical garden. 2004. 4344 Shaw boulevard, st. louis, MO, 63110. US.
- NAS (National Academy of Sciences, US). 1980. Firewood crops: shrub and tree species for energy production vol. 1. Washington D.C., US. National academy of sciences.
- North Carolina State College. 1957. First annual report. North Carolina., US. N. C. State coop. for. tree improving program.
- Panshin, A.; De Zeeuw, C. 1970. Textbook of wood technology, 3<sup>rd</sup> edition. New York, US. Mc Graw-Hill.
- Pérez del Castillo, A.; De Castro, R.; Ohta, S. 2000. Ensayos de propiedades mecánicas de *pinus taeda* por seis métodos no destructivos. UR. Laboratorio tecnológico del Uruguay, proyecto LATU-JICA.
- Rivera, S.; Lenton, M. 1999; La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas argentinas. La Plata, AR. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de la Plata.
- Rojas, F.; Torres, G.; Arnáez, E.; Moreira, I. 1991. Jaúl. Cuadernos científicos y tecnológicos, especies forestales tropicales, no. 1. Cartago, CR. Instituto tecnológico de Costa Rica. p 9-11.
- Rondón, J.; Hernández-Gil, R. 1987. Estudio anatómico de la hoja y madera de *alnus acuminata* HBK. Mérida, VE. p. 27-40. (*Pittieria*, vol.16).

- Russo, R. 1994. A quick guide to useful nitrogen fixing trees from around the world - *alnus acuminata*: valuable timber for tropical highlands. US. Forest, farm, and community tree network.
- Salazar, R.; Dorthe, J. 2000. Danida forest seed centre-CATIE n°1. Turrialba, CR.
- Senisterra, G.; Monteoliva, S.; Marquina, J.; Marlats, R.; Ciocchini, G. 2000. Propiedades del leño en clones del género *salix*, utilizados en programas de mejoramiento genético con aplicación a la industria papelera. Yvyraretá 10: 93-95.
- Soudre, K. 2004. Influencia de 4 factores de crecimiento en la variación de propiedades físicas en la madera de “*cedrelinga catenaeformis*” de las plantaciones de Alexander Von Humbolt. Tesis Ing Forestal: PE. p. 75-77.
- Sparnochia, L. 1990. Mejora genética de las características tecnológicas de la madera. Buenos Aires, AR. Centro de investigaciones y experiencias forestales. p. 36-53.
- Thibaut, B. 1998. Rapport d’activités du laboratoire de mécanique et génie civil: variabilité des propriétés physiques et mécaniques de l’arbre. FR. Université des Science et Techniques du Languedoc. 19 p.
- Tsoumis, G. 1952. Properties and effects of the abnormal wood produced by leaning in hardwoods. Yale for. sch. US. (unpublished).
- Tuk, J. 1980. Informe general del proyecto: Clasificación y normalización de maderas para uso estructural. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR.

- Túllume, M. 2000. Características anatómicas y propiedades físico-mecánicas del cedro proveniente de Satipo. Tesis Ing Forestal: Lima, PE. 37 p.
- Universidad Distrital de Bogotá. 1978. Monografía de *alnus jorullensis*. Bogotá, CO. Colombia forestal 1(1): 5-22.
- Wood Handbook. 1999. Wood as an engineering material. United States department of agriculture, forest service, forest products laboratory. General technical report fpl-gtr-133. Wisconsin, US.
- Yang, K; Chen, Y; Chiu, C. 1994. Formation and vertical distribution of juvenile and mature wood in a single stem of *cryptomeria japonica*. CA. Canadian journal forestry research. 24: 969-975.
- Zhang, S ; Gingras, J. 1998. Aménagement forestier pour la qualité du bois et la plus grande valeur du produit fini. FR. Le progrès forestier, automne. p. 49-54.
- Zobel, B. 1988. Eucalyptus in the forest industry. Tappi 71 (12): 42-46. New York, US. (Springer series in wood science).

*ANEXO 1*

IDENTIFICACIÓN ANATÓMICA DE LA ESPECIE


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES TEF 349-5647 ANEXO 203 Fax 3492041  
 APDO 456 - LA MOLINA LIMA PERU

**CONSTANCIA**

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de madera proporcionadas por el Bach. JORGE EDUARDO LOPEZ FIERRO, ex alumno de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado "Propiedades Físico-Mecánicas del *Alnus acuminata* HBK proveniente de Piura; corresponde a la especie:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Aliso	<i>Alnus acuminata</i> H.B.K.	Betulaceae

Atentamente,

Ing. Manuel Chavesta Custodio  
 Lab. Anatomía de la Madera

La Molina, 20 de Junio de 2006

*ANEXO 2*

RESULTADOS ESTADÍSTICOS CORRESPONDIENTES A LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS

**DENSIDAD BASICA**

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.010795 8.486550 0.031818 0.374919

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	0.00086175	0.00086175	0.85	0.3591 ns

**CONTRACCION VOLUMETRICA TOTAL**

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.006192 17.06732 1.811814 10.61569

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	1.59538424	1.59538424	0.49	0.4878 ns

**CONTRACCION LONGITUDINAL TOTAL**

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.004584 54.75817 0.182924 0.334058

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	0.01202031	0.01202031	0.36	0.5507 ns

**CONTRACCION TANGENCIAL TOTAL**

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.005647 20.67694 1.636792 7.916028

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	1.18670595	1.18670595	0.44	0.5077 ns

## CONTRACCION RADIAL TOTAL

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.001493 34.49833 1.534299 4.447458

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	0.27455751	0.27455751	0.12	0.7336 ns

## CONTENIDO DE HUMEDAD

Number of observations 80  
 Dependent Variable: y

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean  
 0.089460 10.78581 7.197297 66.72932

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
t	1	396.9730095	396.9730095	7.66	0.0070 ns

*ANEXO 3*

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD BÁSICA  
Y LOS CAMBIOS DIMENSIONALES

### Análisis de Regresión (Contracción volumétrica total vs. DB)

The regression equation is

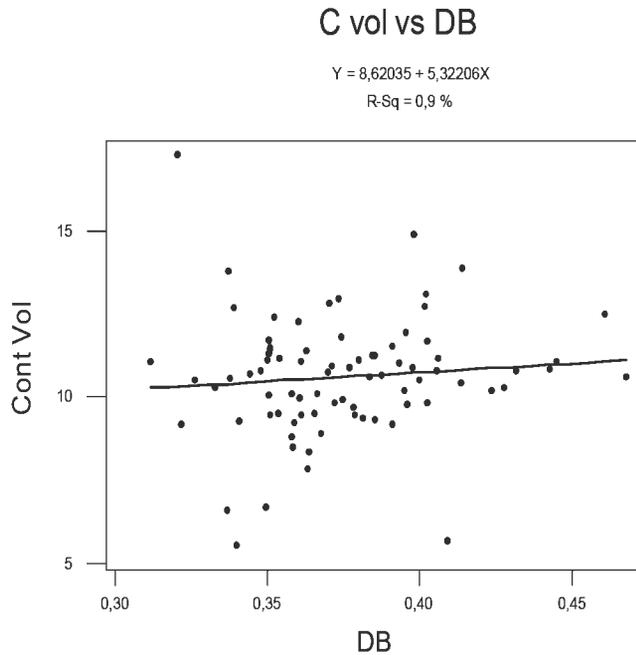
$$y = 8,62 + 5,32 x$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	8,620	2,410	3,58	0,001
x	5,322	6,404	0,83	0,409

S = 1,809    R-Sq = 0,9%    R-Sq(adj) = 0,0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2,261	2,261	0,69	0,409
Residual Error	78	255,383	3,274		
Total	79	257,644			



#### Correlations (Pearson)

Correlation of Cont Vol and DB = 0,094; P-Value = 0,409

### Análisis de Regresión (Contracción longitudinal total vs. DB)

The regression equation is

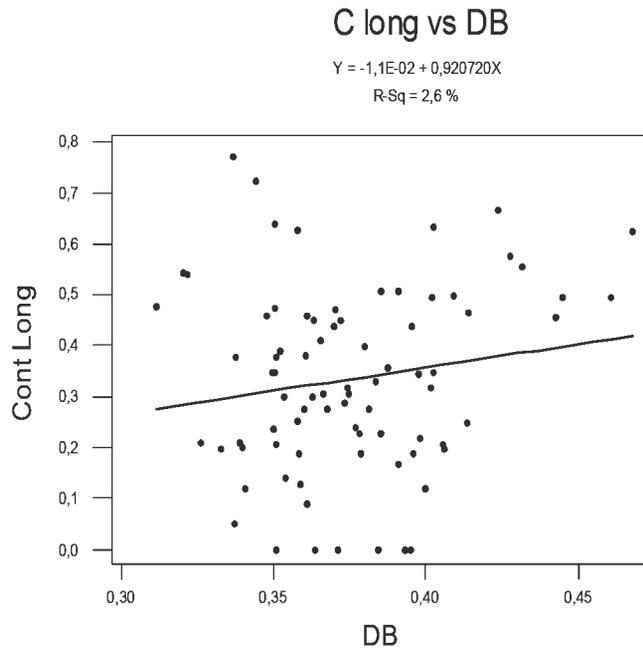
$$y = -0,011 + 0,921 x$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	-0,0111	0,2410	-0,05	0,963
x	0,9207	0,6405	1,44	0,155

S = 0,1810 R-Sq = 2,6% R-Sq(adj) = 1,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,06767	0,06767	2,07	0,155
Residual Error	78	2,55432	0,03275		
Total	79	2,62199			



Correlations (Pearson)

Correlation of Cont Long and DB = 0,161; P-Value = 0,155

### Análisis de Regresión (Contracción tangencial total vs. DB)

The regression equation is

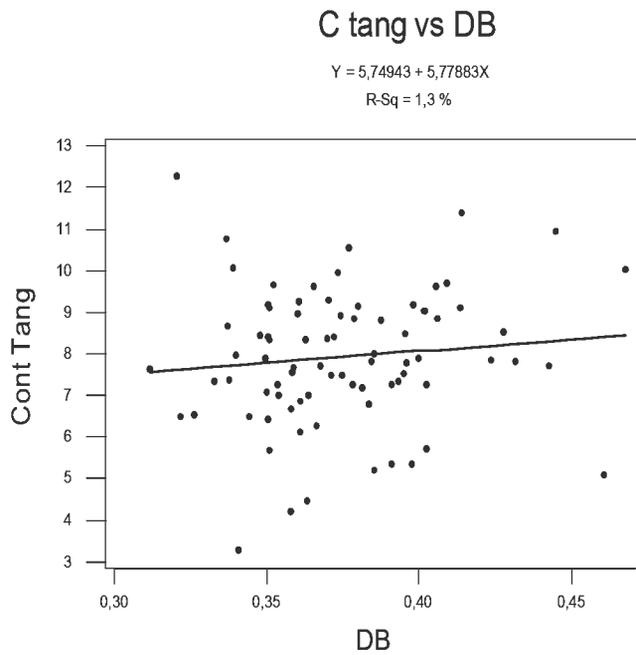
$$y = 5,75 + 5,78 x$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	5,749	2,172	2,65	0,010
x	5,779	5,773	1,00	0,320

S = 1,631    R-Sq = 1,3%    R-Sq(adj) = 0,0%

#### Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2,666	2,666	1,00	0,320
Residual Error	78	207,490	2,660		
Total	79	210,156			



#### Correlations (Pearson)

Correlation of Cont Tang and DB = 0,113; P-Value = 0,320

### Análisis de Regresión (Contracción radial total vs. DB)

The regression equation is

$$y = 4,78 - 0,87 x$$

Predictor	Coef	StDev	T	P
Constant	4,775	2,044	2,34	0,022
x	-0,874	5,434	-0,16	0,873

S = 1,535    R-Sq = 0,0%    R-Sq(adj) = 0,0%

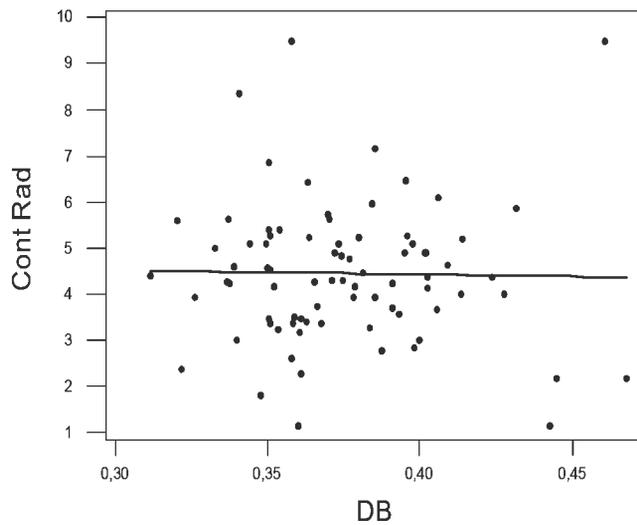
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,061	0,061	0,03	0,873
Residual Error	78	183,831	2,357		
Total	79	183,892			

### C rad vs DB

$$Y = 4,77506 - 0,873781X$$

R-Sq = 0,0 %



### Correlations (Pearson)

Correlation of Cont Rad and DB = -0,018; P-Value = 0,873

*ANEXO 4*

RESULTADOS ESTADÍSTICOS CORRESPONDIENTES A LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS

**FLEXION ESTATICA: ELP**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square Coeff Var Root MSE Y Mean  
 0.053263 22.64813 42.01284 185.5025

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	1787.442566	1787.442566	1.01	0.3276 ns

**FLEXION ESTATICA: MOR**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square Coeff Var Root MSE Y Mean  
 0.088528 18.22349 63.26657 347.1704

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	6997.771209	6997.771209	1.75	0.2026 ns

**FLEXION ESTATICA: MOE**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square Coeff Var Root MSE Y Mean  
 0.246847 25.83335 12862.62 49790.77

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	976057236.7	976057236.7	5.90	0.0258 *

**COMPRESION PARALELA: ELP**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square Coeff Var Root MSE Y Mean  
 0.059144 20.34287 21.82519 107.2867

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	538.9827745	538.9827745	1.13	0.3015 ns

**COMPRESION PARALELA: RM**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.080832	13.38786	18.70805	139.7389

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	554.0076964	554.0076964	1.58	0.2244 ns

**COMPRESION PARALELA: MOE**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.039699	28.01934	20053.72	71570.98

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	299247524.4	299247524.4	0.74	0.3997 ns

**COMPRESION PERP.**

Number of observations 20  
 Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.089172	36.02025	6.712587	18.63559

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	79.40451551	79.40451551	1.76	0.2009 ns

**CIZALLAMIENTO**

Number of observations 40  
 Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.484346	15.10515	8.452027	55.95459

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	41.619161	41.619161	0.58	0.4503 ns
D	1	2342.535734	2342.535734	32.79	<.0001 **
P*D	1	31.424631	31.424631	0.44	0.5114 ns

## TRACCION

Number of observations 40

Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Sum of Root MSE	Y Mean
0.331544	24.75060	7.771574	31.39953

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	52.1102306	52.1102306	0.86	0.3591 ns
D	1	422.2515944	422.2515944	6.99	0.0121 **
P*D	1	604.0599149	604.0599149	10.00	0.0032 **

## DUREZA

Number of observations 60

Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.300096	14.83057	70.92718	478.2500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	92590.81667	92590.81667	18.41	<.0001 **
D	2	13423.90000	6711.95000	1.33	0.2719 ns
P*D	2	10462.63333	5231.31667	1.04	0.3605 ns

## EXT. DE CLAVOS

Number of observations 60

Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.343983	22.55701	34.74080	154.0133

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	10199.88817	10199.88817	8.45	0.0053 **
D	2	22783.74758	11391.87379	9.44	0.0003 **
P*D	2	1190.34508	595.17254	0.49	0.6134 ns

## CLIVAJE

Number of observations 40

Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.424174	16.95063	5.791158	34.16487

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	10.5896479	10.5896479	0.32	0.5777 ns
D	1	874.6626926	874.6626926	26.08	<.0001 **
P*D	1	4.1261603	4.1261603	0.12	0.7278 ns

### TENACIDAD

Number of observations 38

Dependent Variable: Y

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.092473	88.22041	1.510575	1.712274

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
P	1	4.12292602	4.12292602	1.81	0.1878 ns
D	1	3.20857186	3.20857186	1.41	0.2439 ns
P*D	1	0.57385147	0.57385147	0.25	0.6193 ns

*ANEXO 5*

RESULTADOS DEL ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS

## Ensayos de Clivaje

Probeta	Ancho (cm)	Datos de Computo				Resultados
		C. máx (Lbs)	Peso i	PSH (gr)	CH (%)	Resist. Clivaje (Kg/cm)
1A1-R	5,105	380	48,9	32,7	49,5412844	33,71988247
1A1-T	5,11	546	34,6	23	50,43478261	48,40273973
1A2-R	5,12	348	45,3	29,3	54,60750853	30,78984375
1A2-T	5,06	516	27,1	18,2	48,9010989	46,19525692
1B1-R	5,145	306	53	34,2	54,97076023	26,94227405
1B1-T	5,005	412	47,8	32	49,375	37,28991009
1B2-R	5,105	378	49	32,2	52,17391304	33,5424094
1B2-T	5,11	444	27,7	19,2	44,27083333	39,36046967
2A1-R	5,095	508	35,5	20,8	70,67307692	45,16663395
2A1-T	5,135	304	35,9	22,6	58,84955752	26,81830574
2A2-R	5,15	314	52,6	33	59,39393939	27,61980583
2A2-T	5,105	372	28,1	18,1	55,24861878	33,00999021
2B1-R	5,105	390	40,2	26,4	52,27272727	34,6072478
2B1-T	5,075	416	35,2	23,7	48,52320675	37,13261084
2B2-R	5,115	396	48	31,6	51,89873418	35,07096774
2B2-T	5,115	446	25,8	24,2	6,611570248	39,49912023
3A1-R	5,175	364	55,3	32,8	68,59756098	31,86318841
3A1-T	5,115	376	32,4	20	62	33,29970674
3A2-R	5,185	352	54,6	32,2	69,56521739	30,7533269
3A2-T	5,125	430	35,6	21,6	64,81481481	38,00780488
3B1-R	5,115	242	39,1	23,1	69,26406926	21,43225806
3B1-T	5,15	406	46,3	26,9	72,11895911	35,71223301
3B2-R	5,125	338	44,6	25,4	75,59055118	29,87590244
3B2-T	5,15	478	72,3	40,7	77,64127764	42,04543689
4A1-R	5,13	282	48	26,7	79,7752809	24,90175439
4A1-T	5,125	428	34,7	20,1	72,63681592	37,83102439
4A2-R	5,06	222	43,3	25	73,2	19,87470356
4A2-T	5,08	386	34,3	20,4	68,1372549	34,42086614
4B1-R	5,06	282	40,7	24,7	64,77732794	25,24624506
4B1-T	5,08	450	46,7	27,7	68,59205776	40,12795276
4B2-R (X)	5,07	280	19	12,3	54,47154472	25,01775148
4B2-T	5,09	380	31,5	19,6	60,71428571	33,81925344
6A1-R	5,135	364	46,3	29,1	59,10652921	32,11139241
6A1-T	5,075	476	33,4	26,6	25,56390977	42,48827586
6A2-R	5,105	298	46,2	27,9	65,59139785	26,44348678
6A2-T	5,105	562	65,7	40,6	61,8226601	49,86993144
6B1-R	5,095	320	53,6	32,2	66,45962733	28,45142296
6B1-T	5,05	398	17,2	10,3	66,99029126	35,70178218
6B2-R	5,09	296	52	30,3	71,61716172	26,34341847
6B2-T	5,105	516	28,8	17,6	63,63636364	45,78805093

59,76078928

34,16486595

## Ensayo de Tracción

## Datos de computo

Probeta	Ancho (cm)	Espesor (cm)	C. max (lbs)	Pi (gr)	PSH (gr)	CH (%)	EUTP (Kg/cm2)
1A1-R(X)	5,07	2,56	1408	29	18,3	58,4699	49,14201183
1A1-T	5,07	2,71	1092	20,4	13	56,9231	36,00340619
1A2-R(X)	5,015	2,075	1386	28,2	18,2	54,9451	60,33542745
1A2-T	5,095	2,65	1044	23,6	15,4	53,2468	35,0274594
1B1-R	5,11	2,68	912	28,4	19,5	45,641	30,16736279
1B1-T	5,075	2,625	1182	34,2	22,7	50,6608	40,19299085
1B2-R	5,095	2,6	694	30,3	17,1	77,193	23,73231675
1B2-T	5,085	2,58	1036	25,8	20,3	27,0936	35,77233541
2A1-R	5,095	2,64	842	26,2	16,8	55,9524	28,35712374
2A1-T	5,085	2,65	996	40	25,5	56,8627	33,48271832
2A2-R	5,105	2,615	862	29,6	18,9	56,6138	29,25081885
2A2-T	5,05	2,665	992	21,8	14,4	51,3889	33,39037393
2B1-R	5,12	2,67	628	29,3	19,6	49,4898	20,8102177
2B1-T	5,125	2,55	1164	23,7	15,7	50,9554	40,34754663
2B2-R	5,08	2,775	932	28,2	18,2	54,9451	29,94935093
2B2-T	5,105	2,765	1186	22,4	14,9	50,3356	38,06203541
3A1-R	5,18	2,57	724	23,7	13,9	70,5036	24,63620931
3A1-T	5,165	2,76	966	27,8	15,4	80,5195	30,69699903
3A2-R	5,13	2,34	708	23,1	13,6	69,8529	26,71764882
3A2-T	5,19	2,425	672	24,9	13,9	79,1367	24,18735475
3B1-R	5,14	2,56	982	30,3	17,4	74,1379	33,80699781
3B1-T	5,135	2,675	1220	40,4	22,8	77,193	40,23405436
3B2-R	5,17	2,595	508	19,3	11,4	69,2982	17,15275992
3B2-T	5,16	2,68	1392	40,2	24,4	64,7541	45,59875043
4A1-R	5,125	2,63	656	21,3	12,8	66,4063	22,04714829
4A1-T	5,06	2,63	890	23,9	14,3	67,1329	30,29576639
4A2-R	5,11	2,67	592	19,6	11,6	68,9655	19,65566525
4A2-T	5,04	2,455	782	20,2	12,2	65,5738	28,63010377
4B1-R	5,065	2,515	898	20,1	12,8	57,0313	31,93427785
4B1-T	5,035	2,525	1102	31,6	19,3	63,7306	39,26620587
4B2-R	5,02	2,54	616	23,8	14,8	60,8108	21,88474449
4B2-T	5,075	2,425	1188	23,6	14,4	63,8889	43,72872886
6A1-R(n)	5,125	2,565	656	27,7	15,8	75,3165	22,60584795
6A1-T(n)	5,135	2,46	588	14,3	8,3	72,2892	21,08628019
6A2-R	5,15	2,86	852	32,4	19,4	67,0103	26,2038156
6A2-T	5,16	2,565	684	13,5	8,4	60,7143	23,41085271
6B1-R	5,03	2,55	658	20,9	13,2	58,3333	23,23891942
6B1-T	5,065	2,475	992	24,9	15,1	64,9007	35,84719854
6B2-R	5,075	2,58	618	30,4	18,4	65,2174	21,38114332
6B2-T	5,05	2,55	1072	33,8	20,7	63,285	37,71042516
						61,918	31,39953486

## Ensayo de cizallamiento

## Datos de computo

Probeta	Ancho (cm)	Espesor (cm)	C. max (lbs)	P i (gr)	PSH (gr)	CH (%)	Res. ciz (Kg/cm2)
1A1-R (LO)	5,09	5,05	3270	28	19,1	46,596859	57,62843082
1A1-T	5,075	5,085	3900	26,2	17,8	47,191011	68,45982824
1A2-R	5,075	5,06	2580	27,5	18,8	46,276596	45,51256839
1A2-T	5,075	5,045	4180	29,7	19,7	50,761421	73,9566561
1B1-R	5,22	5,025	3050	28,2	19,6	43,877551	52,67341454
1B1-T	5,145	5,065	4020	25,9	17,7	46,327684	69,88105071
1B2-R	5,175	5,05	2140	25	17,2	45,348837	37,09456163
1B2-T (LO)	5,195	5,025	3640	29	19,8	46,464646	63,16521339
2A1-R	5,12	5,065	3270	29,2	19,1	52,879581	57,12109761
2A1-T	5,105	5,015	3440	17,8	12,4	43,548387	60,86813018
2A2-R (n)	5,11	5,06	3250	43,1	28	53,928571	56,93904071
2A2-T	5,11	5,065	3680	28	19,2	45,833333	64,40886866
2B1-R	5,13	5,015	3020	23,5	16	46,875	53,17614408
2B1-T	5,085	5,07	3480	26,3	17,9	46,927374	61,14747517
2B2-R	5,14	5,055	2820	28,6	19,5	46,666667	49,16579108
2B2-T	5,065	5,075	3740	29,1	20	45,5	65,91045473
3A1-R (X)	5,145	5,045	3150	34,2	21,6	58,333333	54,97461621
3A1-T	5,145	5,05	3140	25	15,9	57,232704	54,7458361
3A2-R (X)	5,12	5,1	2680	25,9	17,3	49,710983	46,49356618
3A2-T	5,135	5,11	3470	31,4	19,5	61,025641	59,90544915
3B1-R	5,225	5,055	3220	30,4	19	60	55,22638536
3B1-T	5,165	5,075	3320	29,7	18	65	57,37595315
3B2-R	5,155	5,045	3640	31,2	19,5	60	63,40299093
3B2-T	5,19	5,065	3170	25	15,1	65,562914	54,62741585
4A1-R	5,13	5,055	2930	27,5	16,8	63,690476	51,18318381
4A1-T	5,095	5,025	3920	28	16,7	67,664671	69,35919031
4A2-R (X)	5,075	5,05	1500	28,4	17,5	62,285714	26,51319319
4A2-T	5,06	5,065	3820	30,5	18,6	63,978495	67,51987015
4B1-R	5,07	5,045	2610	27,6	17,7	55,932203	46,22421872
4B1-T	5,055	5,05	3870	30	18,5	62,162162	68,67467756
4B2-R (X)	5,09	5,04	1460	26	16,8	54,761905	25,78117691
4B2-T	5,085	5,05	3690	31,1	19,1	62,827225	65,09419084
6A1-R	5,07	5,105	2640	28,2	17,3	63,00578	46,20600525
6A1-T	5,07	5,085	3920	31,5	20,1	56,716418	68,87876513
6A2-R	5,045	5,05	2350	29,3	18	62,777778	41,78433701
6A2-T	5,065	5,07	3800	27,2	17,7	53,672316	67,03388494
6B1-R	5,075	5,045	2550	27,4	17,7	54,80226	45,11709882
6B1-T	5,04	5,065	3660	31,6	18,4	71,73913	64,9485263
6B2-R	5,075	5,075	3060	28,5	18,6	53,225806	53,82047611
6B2-T	5,055	5,045	2600	33,3	18,7	78,074866	46,18375275
						<b>55,479658</b>	<b>55,95458717</b>

## Dureza

Probeta	Lados						Pi (gr)	PSH (gr)	CH (%)
	Extremos (Lbs)		Radial (Lbs)		Tangencial (Lbs)				
	1	2	1	2	1	2			
1A1	440	544	500	610	570	580	47,4	30,1	57,47508306
1A2	568	518	410	540	510	610	46,9	30	56,33333333
1B1(LO)	572	592	480	430	620	540	46	29,9	53,84615385
1B2(X)	542	460	380	560	480	490	46,4	30	54,66666667
2A1(X)	690	632	674	786	522	864	48,6	30,7	58,30618893
2A2(LO)	552	570	556	522	524	490	47,9	27,5	74,18181818
2B1	396	512	412	388	510	456	36,8	23,9	53,9748954
2B2	450	358	504	368	462	636	36,8	23,3	57,93991416
3A1	450	460	550	470	440	610	56,4	33	70,90909091
3A2	440	410	560	490	530	390	47,9	26,8	78,73134328
3B1	350	470	460	520	480	460	52,3	30,5	71,47540984
3B2	440	430	400	350	490	400	50,9	30	69,66666667
4A1	400	360	490	480	500	400	44,9	26	72,69230769
4A2(X)	410	400	520	360	540	480	42,6	25	70,4
4B1(X)	360	340	380	300	310	460	41,9	25,7	63,03501946
4B2	340	330	360	350	440	350	36,3	21,8	66,51376147
6A1	490	520	500	420	530	460	45,6	26,8	70,14925373
6A2	480	520	530	560	570	550	53,4	30,3	76,23762376
6B1	470	490	390	350	390	440	43,4	25,4	70,86614173
6B2	440	460	390	460	430	460	45	26	73,07692308
	466,4		469		499,35				66,02387976

## Ext. de clavos

Probeta	Extremos (Lbs)		Lados				Pi (gr)	PSH (gr)	CH (%)
	1	2	Radial (Lbs)		Tangencial (Lbs)				
	1	2	1	2	1	2			
1A1	140,5	152	241,5	262,5	169	204	48,2	30,2	59,60264901
1A2	138	149,5	270,5	220,5	202,5	252,5	52,7	35,1	50,14245014
1B1(X)	122,5	125	230,5	234	200	204	47,6	30,3	57,09570957
1B2	123,5	131	172	164	150	163,5	47,9	31,1	54,0192926
2A1	126	142,5	150	204	176	173	48,9	29,9	63,5451505
2A2(H)	140	127	191,5	255,5	224,5	231,5	47,9	30	59,66666667
2B1(H)	126,5	150	154,5	130,5	141,5	136,5	38,2	24,7	54,65587045
2B2	80	106	107,5	95,5	135	95	36,9	24,1	53,1120332
3A1	130	125,5	151	150	115	146,1	44,9	25,4	76,77165354
3A2	134,5	137	151	163,5	112,5	138	50,7	29,2	73,63013699
3B1	101	61	124	144,5	79	100	41,9	25	67,6
3B2	128,5	103,5	129	134	118,5	132	44,7	26,8	66,79104478
4A1(X)	139	136	200	277,5	170	175,5	46	26	76,92307692
4A2	97	115,5	131	123	157,5	169	46,2	27,9	65,59139785
4B1	111,5	115,5	121	103	104	129	35,5	21,8	62,8440367
4B2	104	133	130	137	135	123,5	41,2	25,8	59,68992248
6A1	145,5	158,5	155	176	146,5	184,5	43,3	26,3	64,63878327
6A2	122	142,5	175	191	176,5	160,5	61,2	34,5	77,39130435
6B1	159,5	128	208,5	207	146,5	190	43,5	26,4	64,77272727
6B2	160,5	156,5	221	219	180,5	201,5	56	33,3	68,16816817
	128,138		175,16		158,74				63,83260372

## Ensayo de Tenacidad

Probeta	Angulo inicial	Posición inicial	Lectura de Vernier	Sección	CH (%)	Tenacidad (Lbs-pulg)	Tenacidad (Kg-m)	Observación
1A1	60	2	40,9	Radial	62,03	312,7	3,598	
1A1	60	2	35	Tangencial	85,27	390	4,487	
1A2	60	2	40,9	Radial	52,54	312,7	3,598	
1A2	60	2	41,3	Tangencial	59,71	307,1	3,534	
1B1	60	2	34,5	Radial	61,08	396	4,556	
1B1	60	2	51,6	Tangencial	36,55	148	1,703	
1B2	60	2	40,7	Radial	83,66	315,4	3,629	
1B2	60	2	49	Tangencial	48,59	100,7	1,159	orientación oblicua
2A1	60	2	45,5	Radial	57,27	245,5	2,825	
2A1	60	2	58,9	Tangencial	56,34	20,2	0,232	
2A2	60	2	60,9	Radial	63,26	0	0,000	
2A2	60	2	40,4	Tangencial	58,99	319,5	3,676	
2B1	60	2	58,6	Radial	55,61	25,7	0,296	
2B1	60	2	50,3	Tangencial	54,52	169,6	1,951	
2B2	60	2	57,3	Radial	47,28	49,1	0,565	
2B2	60	2	58,2	Tangencial	55,26	33	0,380	
3A1	60	2	57,4	Radial	63,64	47,4	0,545	
3A1	60	2	58	Tangencial	69,14	36,5	0,420	
3A2	60	2	57,9	Radial	68,54	38,4	0,442	
3A2	60	2	59,1	Tangencial	64,52	16,5	0,190	
3B1	60	2	53,2	Radial	70,82	121	1,392	
3B1	60	2	57,1	Tangencial	70,35	52,8	0,608	orientación oblicua
3B2	60	2	58,4	Radial	61,32	29,3	0,337	
3B2	60	2	57,8	Tangencial	70,04	40,2	0,463	orientacion lig. oblicua
4A1	60	2	36,5	Radial	71,25	371,3	4,272	
4A1	60	2	51,2	Tangencial	71,9	154,7	1,780	
4A2	60	2	36,7	Radial	76,43	368,8	4,243	orientación oblicua
4A2	60	2	46,8	Tangencial	70,91	225,4	2,593	orientación oblicua
4B1	60	2	46,8	Radial	64,33	225,4	2,593	
4B1	60	2	51	Tangencial	67,9	158	1,818	
4B2	60	2	54,2	Radial	64,95	103,9	1,195	
4B2	60	2	43,5	Tangencial	69,11	275,4	3,169	orientacion lig. oblicua
6A1	60	2	60,9	Radial	62,44	0	0,000	
6A1	60	2	59,2	Tangencial	63,25	14,7	0,169	
6A2	60	2	58,6	Radial	63,87	25,7	0,296	
6A2	60	2	59,2	Tangencial	68,99	14,7	0,169	
6B1	60	2	59,1	Radial	64,71	16,5	0,190	
6B1	60	2	59,3	Tangencial	74,21	12,8	0,147	
6B2	60	2	51,3	Radial	62	153	1,760	
6B2	60	2	59,6	Tangencial	57,87	7,3	0,084	
					63,76	141,3725	1,6266603	

## Ensayo de Compresión perpendicular

Probeta	Ancho Rd (cm)	Peso inicial	PSH (gr)	CH (%)	P'(Lbs)	ELP(kg/cm2)
1A1	5,095	45,9	27,7	65,7039711	1760	31,29656526
1A2	5,11	45,2	28	61,4285714	2080	36,87827789
1B1	5,205	40,9	26,5	54,3396226	1220	21,23573487
1B2	5,025	44,8	28,1	59,430605	1185	21,36537313
2A1	5,135	46,6	27,5	69,4545455	650	11,46835443
2A2	5	39,5	24,7	59,9190283	668	12,10416
2B1	5,11	46,7	28,7	62,71777	860	15,24774951
2B2(X)	5,075	46,3	28	65,3571429	660	11,78246305
3A1	5,13	44,6	26,8	66,4179104	1240	21,8994152
3A2	5,145	50,2	29,2	71,9178082	1310	23,06822157
3B1	5,135	48,3	25,9	86,4864865	1170	20,64303797
3B2	5,165	40,7	23,1	76,1904762	620	10,87550823
4A1	5,01	48,6	27,4	77,3722628	930	16,81796407
4A2	5,05	40,2	23	74,7826087	575	10,31584158
4B1	5,05	41,2	24,8	66,1290323	735	13,18633663
4B2	5,055	37,9	22,8	66,2280702	870	15,59287834
6A1	5,065	52,8	30,3	74,2574257	1260	22,53820336
6A2	5,055	45,3	25,2	79,7619048	1110	19,89436202
6B1	5	43,7	24,7	76,9230769	900	16,308
6B2	5,025	42,9	25,4	68,8976378	1120	20,19343284
				69,1857979	1046,15	18,635594

## Ensayo de Compresión paralela

Probeta	Ancho Tg (cm)	Ancho Rd (cm)	Peso i	PSH (gr)	CH (%)	P (Lbs)	P' (Lbs)	Y (*10 -4 pulg)	ELP(kg/cm2)	MOR(kg/cm2)	MOE(kg/cm2)
1A1	5,075	5,085	46,7	29,8	56,7114	8750	6700	89	117,6104742	153,5957685	78039,33081
1A2	5,12	5,095	57,4	36,1	59,0028	9050	7600	132	131,9768155	157,1566027	59044,74566
1B1(N)	5,175	5,18	47,5	30,5	55,7377	8600	6300	84	106,4629847	145,3304236	74847,43021
1B2	5,015	5,105	55,6	36	54,4444	8200	6150	92	108,8194769	145,0926359	69851,59851
2A1	5,125	5,105	47,4	29	63,4483	8000	6550	138	113,4096175	138,5155634	48532,01709
2A2	5,14	5,15	55,2	33,3	65,7658	9250	8000	124	136,904537	158,295871	65200,91617
2B1(X)	5,02	5,065	56,7	33,7	68,2493	10350	8600	118	153,2193044	184,3976513	76681,22135
2B2	5,11	5,01	47,5	30,4	56,25	8600	5750	61	101,7436751	152,1731488	98499,74998
3A1	5,135	5,075	57	32,5	75,3846	7500	6050	97	105,166418	130,3715926	64026,96122
3A2	5,195	5,17	64,3	36,4	76,6484	7750	6000	56	101,1983327	130,7145131	106719,2766
3B1	5,125	5,14	59	33,8	74,5562	9100	6500	60	111,7775458	156,4885641	110017,2695
3B2(LO)	5,175	5,2	55,5	31,9	73,9812	6750	5800	88	97,63656633	113,6287625	65522,0336
4A1(F)	5,11	5,09	52,8	30,3	74,2574	6300	3700	110	64,44084752	109,7236052	34596,01692
4A2	5,095	5,14	60,6	34	78,2353	7400	5200	89,5	89,94856482	128,0037269	59351,0963
4B1	4,99	5,115	46,9	28,6	63,986	8600	6700	94	118,9123114	152,6337132	74706,17655
4B2(N)	5,15	5,05	52,6	32,1	63,8629	8300	7150	86	124,5390753	144,5698356	85519,41627
6A1	5,17	5,14	54,4	31,7	71,6088	7400	5700	84	97,16713455	126,1468063	68312,10246
6A2	5,09	5,075	58,5	32,5	80	6400	3600	40	63,13161129	112,2339756	93206,11903
6B1	5,095	5	58,4	32,8	78,0488	6600	4800	97,5	85,35426889	117,3621197	51698,52749
6B2	5,05	5,09	63,1	35,1	79,7721	7850	6600	146	116,314264	138,3434807	47047,62055
					68,4976	8037,5	6172,5	94,3	107,2866913	139,738918	71570,98132

## Ensayo de Flexión Estática

Probeta	Ancho Tg (cm)	Espesor Rd (cm)	Peso inicial	PSH (gr)	CH (%)	P (Lbs)	P' (Lbs)	Y (*10 <sup>-3</sup> pulg)	ELP(kg/cm <sup>2</sup> )	MOR(kg/cm <sup>2</sup> )	MOE(kg/cm <sup>2</sup> )
1A1	2,69	2,655	14,5	10,5	38,09524	300	206	180	258,3707792	376,268125	43456,77427
1A2	2,645	2,665	15,4	10,8	42,59259	336,5	180	120	227,8819397	426,0126261	57277,30424
1B1	2,645	2,635	14,4	10	44	314	156	140	202,0203822	406,6307692	44018,74483
1B2	2,665	2,625	13,5	9,7	39,17526	298	158	87,5	204,6250335	385,9383543	71609,8105
2A1	2,51	2,475	12,6	8,7	44,82759	234,5	100	140	154,6797201	362,7239435	35882,38157
2A2(F)	2,65	2,595	12,5	8,5	47,05882	240,5	106	115	141,2676668	320,517678	38050,35312
2B1(F)	2,57	2,575	13,9	10,2	36,27451	322,5	165	112	230,278748	450,0902801	64181,47965
2B2(X)(F)	2,555	2,56	13	9,2	41,30435	264	148	148	210,2075864	374,9648839	44596,19715
3A1(F)	2,575	2,585	17,2	10,8	59,25926	248	146	110	201,7957582	342,7763564	57043,99355
3A2	2,575	2,565	13,5	8,9	51,68539	138,5	79	125	110,9002753	194,4264321	27802,66096
3B1(LO)	2,585	2,56	16,9	11,2	50,89286	228	142	102	199,3450113	320,0750886	61364,38081
3B2	2,575	2,555	15,8	9,8	61,22449	252,5	147	100	207,9772339	357,2398066	65429,86362
4A1	2,575	2,575	14,5	8,6	68,60465	217	132	127	183,8652838	302,2633833	45192,86808
4A2(F)	2,55	2,575	15,1	9,4	60,6383	246	106	150	149,0969377	346,0174214	31027,82639
4B1	2,565	2,535	15,1	9,7	55,6701	286,5	153	85	220,7525045	413,3698859	82349,2924
4B2(F)	2,595	2,485	13,7	8,5	61,17647	260,5	142	145	210,7442342	386,6117817	47012,40057
6A1(F)	2,75	2,685	15,3	10,3	48,54369	316	171	110	205,1314935	379,0734031	55827,28252
6A2	2,685	2,675	15,5	9,8	58,16327	189,5	103	105	127,4978518	234,5712904	36487,23079
6B1	2,695	2,545	13,3	8,7	52,87356	215,5	80	97,5	108,9966498	293,6097255	35307,89845
6B2	2,575	2,575	14,2	9,5	49,47368	194	111	93	154,6139887	270,2262505	51896,69773
					50,5767	255,1	136,55	119,6	185,5024539	347,1703743	49790,77206

*ANEXO 6*

CALSIFICACIÓN PROPUESTA POR ARÓSTEGUI (1982) SEGÚN LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA MADERA

## Clasificación según las propiedades físico-mecánicas de la madera

Grupo	Propiedades Físicas		Propiedades Mecánicas					Clasificación
	Densidad Básica	Contracción Volumétrica	Flexión Estática (MOR)	Compresión Paralela (RM)	Compresión Perpendicular (ELP)	Dureza (lados)	Cizallamiento	
I	<0,3	<7	<300	<120	<10	<100	<30	Muy baja
II	0,3-0,4	7,0-10,0	300-500	120-240	10,0-40,0	100-300	30-60	Baja
III	0,41-0,6	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

*ANEXO 7*

REQUISITOS PARA LOS PRINCIPALES USOS DE LA MADERA SEGÚN  
ARÓSTEGUI (1982)

## 1. Pisos:

- ❖ Madera dura a muy dura (densidad básica mayor a  $0.6 \text{ gr/cm}^3$ ).
- ❖ Contracción baja a moderadamente baja (menor a 12%).
- ❖ Baja tendencia a torceduras y grietas (relación T/R igual o menor a 1.6).
- ❖ Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- ❖ Buena apariencia

## 2. Tejas:

- ❖ Adecuada resistencia al deterioro debido a la acción atmosférica.
- ❖ Baja absorción de humedad.
- ❖ Contracción volumétrica baja a moderadamente baja (menor a 12%).
- ❖ Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- ❖ Madera altamente durable.

## 3. Carpintería de obra:

- ❖ Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- ❖ Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2).
- ❖ Contracción volumétrica baja o moderadamente baja (menor a 12%).
- ❖ Buena apariencia.
- ❖ Textura fina o media.
- ❖ Buen o regular acabado.

#### 4. Maderas de construcción:

- ❖ Densidad básica de 0.5 a 0.8.
- ❖ Con respecto a la Flexión Estática: ELP igual o mayor a  $400 \text{ kg/cm}^2$ , MOE igual o mayor a  $100000 \text{ kg/cm}^2$  y MOR igual o mayor a  $700 \text{ kg/cm}^2$ .
- ❖ Resistencia a la Compresión Paralela igual o mayor a  $350 \text{ kg/cm}^2$ .
- ❖ Compresión Perpendicular igual o mayor a  $60 \text{ kg/cm}^2$ .
- ❖ Cizallamiento igual o mayor a  $35 \text{ kg/cm}^2$ .
- ❖ Contracción moderadamente baja (relación T/R igual o menor a 2).
- ❖ Buena preservación natural o fácil de tratar.

#### 5. Carpintería:

- ❖ Buen comportamiento al trabajo con maquinarias de carpintería.
- ❖ Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 2).
- ❖ Contracción volumétrica baja o moderadamente baja (menor a 12%).

#### 6. Ebanistería:

- ❖ Madera dura y resistente (densidad básica de 0.4-0.6).
- ❖ Buen comportamiento al torno.
- ❖ Buen comportamiento a las propiedades de carpintería.
- ❖ Contracción volumétrica baja o moderadamente baja (menor a 12%).
- ❖ Relación T/R igual o menor a 2.
- ❖ Buena apariencia.
- ❖ Buen acabado.

## 7. Cajonería:

- ❖ Adecuada resistencia mecánica (densidad básica de 0.4 a 0.6).
- ❖ Madera liviana a moderadamente pesada.
- ❖ Fácil aserrío.
- ❖ Exenta de olores y secreciones.
- ❖ Buen comportamiento a los clavos.

## 8. Obras de torneado y artesanía:

- ❖ Madera moderadamente pesada y dura (densidad básica de 0.4 a 0.6).
- ❖ Resistente al ataque de hongos e insectos o buen comportamiento a tratamientos de preservación.
- ❖ Textura fina o media.
- ❖ Apariencia atractiva
- ❖ Buen comportamiento al torneado.

## 9. Encofrados:

- ❖ Estabilidad dimensional (contracción volumétrica menor a 12%).
- ❖ Buen comportamiento al secado (relación T/R igual o menor a 1.6).
- ❖ Densidad básica de 0.4 a 0.6.
- ❖ Baja absorción de humedad.
- ❖ Buena resistencia mecánica.

*ANEXO 8*

VALORES PROMEDIO, RANGOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DEL  
CONTENIDO DE HUMEDAD PARA CADA ÁRBOL EN ESTUDIO  
PROVENIENTE DE PIURA

**Valores promedio, rangos y coeficientes de variabilidad del contenido de humedad para cada árbol evaluado.**

Árbol	Promedio	Rango		CV %
		Mínimo	Máximo	
1	57,796	53,591	62,810	5,18
2	61,493	52,322	71,299	7,81
3	73,398	57,808	83,247	9,22
4	70,658	64,565	78,135	4,53
5	70,302	61,518	75,526	5,64
<b>Total</b>	<b>66,729</b>	<b>52,322</b>	<b>83,247</b>	<b>11,23</b>

*ANEXO 9*

COEFICIENTES DE VARIABILIDAD (%) DE CONTRACCIONES Y RELACIÓN  
T/R CORRESPONDIENTES A CADA ÁRBOL ENE STUDIO PROVENIENTE DE  
PIURA

**Coefficientes de variabilidad (%) de contracciones y relación T/R  
correspondientes a cada árbol evaluado.**

Árbol	Contracciones				T/R
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica	
1	44,843	20,297	41,347	8,113	72,340
2	18,106	11,876	74,254	17,369	19,172
3	26,059	18,499	43,710	19,632	65,441
4	51,758	28,250	57,800	16,040	49,772
5	25,215	16,530	134,318	11,530	36,405

*ANEXO 10*

VALORES PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS PARA CADA  
NIVEL DEL ÁRBOL

Propiedades	Nivel del árbol						CV%					
	A			B			Entre árboles		Dentro del árbol		Total	
	promedio	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	A	B	A	B	A	B
<b>Flexión Estática</b>												
<i>ELP(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	176,049	110,900	258,371	194,956	108,990	230,279	21,745	18,504	20,832	7,620	26,795	18,529
<i>MOR(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	328,465	194,920	426,010	365,876	270,220	450,090	14,857	15,004	19,881	6,985	21,185	15,372
<i>MOE(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	42804,868	27802,661	57277,304	56776,677	35307,898	82349,292	25,379	14,910	25,640	25,855	25,379	25,698
<b>Compresión Paralela</b>												
<i>ELP(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	102,095	63,130	136,900	112,478	85,350	153,210	22,708	10,234	15,505	12,926	24,414	16,185
<i>RM(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	134,476	109,720	158,290	145,002	113,620	184,390	12,464	10,617	6,072	10,307	12,912	13,767
<i>MOE(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	67702,858	34596,017	93206,119	75439,104	47047,621	110017,269	23,708	21,069	26,949	14,910	30,779	25,501
<b>Comp. perpendicular</b>												
<i>ELP(kg/cm<sup>2</sup>)</i>	20,628	10,310	36,870	16,643	10,870	21,360	42,881	18,982	12,354	17,853	41,735	24,034
<b>Dureza</b>												
<i>Extremos (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	223,193	163,080	312,570	199,365	149,490	268,176	35,311	29,130	7,374	8,942	37,815	39,306
<i>Radial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	238,459	163,080	356,058	186,455	135,900	253,680	27,363	19,946	15,646	12,586	38,729	35,668
<i>Tangencial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	241,676	176,670	391,392	210,736	140,430	288,108	30,920	17,526	16,303	11,734	40,864	36,491
<b>Extracción de clavos</b>												
<i>Extremos (Kg)</i>	61,121	43,941	71,801	54,972	27,633	72,707	26,637	25,930	8,406	14,579	22,562	46,034
<i>Radial (Kg)</i>	86,976	55,719	125,708	71,721	46,659	104,417	43,564	47,444	17,987	10,996	55,357	63,575
<i>Tangencial (Kg)</i>	78,926	52,095	101,699	64,892	35,787	92,412	39,123	41,541	13,609	13,442	45,468	56,706
<b>Tensión perpendicular</b>												
<i>Radial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	30,895	19,650	60,330	25,406	17,150	33,800	21,318	34,403	8,986	25,216	42,625	22,027
<i>Tangencial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	29,621	21,080	36,000	39,676	35,770	45,570	12,619	5,747	4,826	7,452	17,528	7,929
<b>Cizallamiento</b>												
<i>Radial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	48,436	23,510	57,620	48,168	25,780	63,400	9,261	24,125	13,863	22,139	19,763	21,852
<i>Tangencial (Kg/cm<sup>2</sup>)</i>	65,514	54,740	73,950	61,701	46,180	69,880	8,750	8,877	4,013	8,549	8,553	11,678
<b>Clivaje</b>												
<i>Radial (Kg/cm)</i>	30,324	19,870	45,160	28,653	21,430	35,070	18,976	14,167	13,659	8,324	21,950	15,922
<i>Tangencial (Kg/cm)</i>	39,034	26,810	49,860	38,648	33,810	45,590	10,929	14,018	9,304	9,442	19,296	9,075
<b>Tenacidad (kg-m)</b>												
<i>Radial (Kg-m)</i>	2,477	0,000	4,270	1,651	0,180	4,550	67,694	89,994	71,289	84,295	75,430	91,178
<i>Tangencial (Kg-m)</i>	1,725	0,160	4,480	1,148	0,080	3,160	6,755	108,070	61,690	34,228	99,646	86,965

*ANEXO 11*

AJUSTE DE VALORES DE RESISTENCIA MEDIANTE EL MÉTODO DE  
PORCENTAJES (ACEVEDO, 1973)

**Método de ajuste:**  $R2 = R1 (1 \pm r)^n$

Donde:

R2: Es el valor ajustado a un contenido de humedad requerido.

R1: Es el valor obtenido en el ensayo a un determinado contenido de humedad.

r: Porcentaje dado por la tabla adjunta.

n: Diferencia del contenido de humedad R1 y R2

+: Usado cuando  $CH_{R1} > CH_{R2}$

-: Usado cuando  $CH_{R1} < CH_{R2}$

**Porcentaje de variación de las propiedades fisico-mecánicas por la disminución o aumento de 1% del contenido de humedad**

Propiedades mecánicas	Cambio por disminución o aumento de 1 % del contenido de humedad (r %)
<b>1. Flexión estática</b>	
1.1. Esfuerzo en el límite proporcional	5
1.2. Módulo de ruptura	4
1.3. Módulo de elasticidad	2
1.4. Trabajo hasta el límite proporcional	8
1.5. Trabajo hasta la carga máxima	0.5
<b>2. Compresión paralela</b>	
2.1. Esfuerzo al límite proporcional	5
2.2. Resistencia máxima en compresión	6
<b>3. Compresión perpendicular</b>	
3.1. Esfuerzo al límite proporcional	5.5
<b>4. Dureza</b>	
4.1. Cara transversal	4
4.2. Cara longitudinal	2.5
<b>5. Cizallamiento</b>	3
<b>6. Tensión perpendicular</b>	1.5

**Ejemplo de ajuste:**

Si se tiene que una madera cuyo módulo de ruptura en compresión paralela es 511 Kg./cm<sup>2</sup> al 2.4% de CH y si su psf (punto de saturación de las fibras) es aproximadamente 26%, ¿Cual será su valor de resistencia en el psf?

Donde:

r según la tabla es 5%, es decir  $r = 0.05$

n:  $26 - 21.4 = 4.6$

Por lo tanto:

$$R_2 = 511 (1 - 0.05)^{4.6}$$

$R_2 = 394 \text{ Kg. /cm}^2$  en el psf

*ANEXO 12*

RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL *ALNUS ACUMINATA*  
HBK PROVENIENTE DEL VALLE DEL MANTARO, OBTENIDOS PARA  
CORROBORAR A ALIAGA (1972)

## Ensayo de Compresión paralela

Probeta	Ancho Tg (cm)	Ancho Rd (cm)	Peso i	PSH (gr)	Vol cm <sup>3</sup>	CH (%)	P (Lbs)	P' (Lbs)	Y (*10 <sup>-4</sup> pulg)	ELP(kg/cm <sup>2</sup> )	MOR(kg/cm <sup>2</sup> )	MOE(kg/cm <sup>2</sup> )
1	4.91	4.925	51.3	27.22	63.98	88.464364	8750	6700	89	125.512008	163.9149359	83282.31975
2	5.075	4.96	43.55	25.42	64.53	71.321794	9050	7600	132	136.771015	162.8654855	61189.60962
										131.142	163.390	72235.965

## Ensayo de Flexión Estática

Probeta	Ancho Tg (cm)	Espesor Rd (cm)	Peso i	PSH (gr)	Vol cm <sup>3</sup>	CH (%)	P (Lbs)	P' (Lbs)	Y (*10 <sup>-3</sup> pulg)	ELP(kg/cm <sup>2</sup> )	MOR(kg/cm <sup>2</sup> )	MOE(kg/cm <sup>2</sup> )
1	2.33	2.335	10.33	6.45	15.75	60.155039	300	206	180	385.651509	561.6284111	73754.2017
2	2.42	2.55	9.05	5.53	13.69	63.652803	336.5	180	120	272.040951	508.5654437	71460.15912
3	2.375	2.475	8.03	5.12	12.61	56.835938	217	132	127	215.783094	354.7343289	55181.00597
4	2.38	2.465	8.8	5.65	13.44	55.752212	246	106	150	174.322147	404.5589451	37896.18619
										261.949	457.372	59572.888

Clivaje		Datos de computo					Resultados
Probeta	Ancho (cm)	C. máx (Lbs)	Peso i	PSH (gr)	Vol cm <sup>3</sup>	CH (%)	Resist. Clivaje (Kg/cm)
1T	4.84	207	154.36	87.71	206.82	75.98905484	19.37417355
1R	4.815	270	158.39	91.73	207.74	72.66979178	25.40186916
2T	4.89	252	152.43	88.7	212.78	71.84892897	23.34478528
2R	4.835	184	150.33	88.19	210.62	70.46150357	17.23929679
						72.74231979	21.3400312

Tracción		Datos de computo						
Probeta	Ancho (cm)	Espesor (cm)	C. max (lbs)	Pi (gr)	PSH (gr)	Vol cm <sup>3</sup>	CH (%)	EUTP (Kg/cm <sup>2</sup> )
1T	5.04	2.57	643	30.92	18.31	42.91	68.86947023	22.48772466
1R	4.88	2.76	640.5	37.05	21.84	49.07	69.64285714	21.54211957
2T	4.885	2.34	702	37.15	20.04	36.3	85.37924152	27.8198567
2R	4.885	2.425	682	37.34	21.01	42.78	77.72489291	26.07992065
						75.40411545	24.4824054	

Cizallamiento		Datos de computo						
Probeta	Ancho (cm)	Espesor (cm)	C, max (lbs)	P i (gr)	PSH (gr)	Vol cm <sup>3</sup>	CH (%)	Res. ciz (Kg/cm <sup>2</sup> )
1T	4.915	5.3	4060	30.44	17.73	40.12	71.68640722	70.60327454
1R	4.8	5.515	3230	31.53	19.31	40.92	63.28327292	55.27311877
2T	4.73	5.31	3160	29.31	18.28	47.77	60.33916849	56.99406362
2R	4.845	5.635	4080	29.88	17.36	42.3	72.11981567	67.69719329
						66.85716607	62.64191255	

Extracción de clavos

Probeta	Lados						Pi (gr)	PSH (gr)	Vol cm3	CH (%)
	Extremos (Lbs)		Radial (Lbs)		Tangencial (Lbs)					
	1	2	1	2	1	2				
1	192	182	248	246	292	265	44.16	26.2	53.27	68.5496183
2	174	180	292	280	264	270	45.9	25.92	60.24	77.0833333

Dureza

Probeta	Lados						Pi (gr)	PSH (gr)	Vol cm3	CH (%)
	Extremos (Lbs)		Radial (Lbs)		Tangencial (Lbs)					
	1	2	1	2	1	2				
1	515	428	510	632	654	624	47.68	25.69	62.69	85.5975088
2	617	440	580	564	562	582	44.1	25.2	60.94	75

Tenacidad

Probeta	Angulo inicial	Posición inicial	Lectura de Vernier	Sección	Pi (gr)	PSH (gr)	Vol cm3	CH (%)	Tenacidad (Lbs-pulg)	Tenacidad (Kg-m)
1	60	2	59.5	Tangencial	38.83	22.46	55.780	72.88	9.2	0.106
2	60	2	57.4	Radial	45.15	25.79	66.270	75.06	40.4	0.465
3	60	2	56.6	Tangencial	36.24	21.76	56.700	66.54	61.7	0.710
4	60	2	54.5	Radial	34.6	21.01	51.970	64.68	98.6	1.135
5	60	2	58	Tangencial	38.29	21.99	56.450	74.12	36.5	0.420
6	60	2	58.7	Radial	32.66	20.68	50.510	57.93	23.8	0.274

0.518

Ensayo de Compresión perpendicular

Probeta	Ancho Rd (cm)	Peso inicial	PSH (gr)	Vol cm3	CH (%)	P'(Lbs)	ELP(kg/cm2)
1	4.95	57.23	30.04	66.20	90.51265	930	17.02181818
2	4.925	47.75	26.17	70.10	82.460833	670	12.32527919

14.674