

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE  
TRES ESPECIES FORESTALES ANDINAS: PLATUQUERO (*Styloceras sp*),  
YAGUAL (*Polylepis racemosa*), NOGAL (*Juglans neotropica*).**

**IRENE PAULINA PAGUAY PEÑA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL**

**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2013**

## *HOJA DE CERTIFICACIÓN*

**EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA**, que el trabajo de investigación titulado: **“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES ESPECIES FORESTALES ANDINAS: PLATUQUERO (*Styloceras sp*), YAGUAL (*Polylepis racemosa*), NOGAL (*Juglans neotropica*)”**; de responsabilidad de la señorita egresada Irene Paulina Paguay Peña, ha sido prolijamente revisada, quedando autorizada su presentación.

### **TRIBUNAL DE TESIS**

**Ing. José Paredes**

-----

**DIRECTOR**

**Ing. Eduardo Cevallos**

-----

**MIEMBRO**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

Riobamba, mayo del 2013

## DEDICATORIA

A Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los momentos más difíciles, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi padre por ser el pilar más importante, quién con sus sabios consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.

A mi madre Martha, a mis hermanos Marcelo y Silvana, quienes con su amor, ayuda y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

A mi novio Javier por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a apoyarme en todo momento.

*Irene Paulina*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Quiero también extender mi reconocimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal, principalmente a las autoridades y docentes por haberme recibido en sus aulas, quienes con su sabiduría, impulsaron el desarrollo de mi formación profesional.

De manera especial y sincera mi agradecimiento al Ing. José Paredes e Ing. Eduardo Cevallos en calidad de Director y Miembro del tribunal de tesis respectivamente, porque gracias a su valiosa asesoría, apoyo, paciencia y disponibilidad han sido un aporte primordial en el desarrollo de la investigación realizada.

A mi familia por ser ejemplo de perseverancia y constancia, quienes son mi inspiración.

A Javier quien con su amor y comprensión ha sido un apoyo primordial en el transcurso de mi carrera universitaria, gracias por compartir

momentos de tristeza y de alegría y por demostrarme que siempre podré contar con él.

A todos mis amigos en especial a Marlene, por su valiosa amistad y apoyo incondicional.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis y en mi formación profesional y humana.

**¡Gracias a ustedes!**

## TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO	CONTENIDO	PÁGINA
	LISTA DE CUADROS	ii
	LISTA DE FIGURAS	v
	LISTA DE GRÁFICOS	vi
	LISTA DE ANEXOS	vii
I	TÍTULO	1
II	INTRODUCCIÓN	1
III	REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV	MATERIALES Y MÉTODOS	36
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
VI	CONCLUSIONES	120
VII	RECOMENDACIONES	121
VIII	RESUMEN	122
IX	SUMMARY	123
X	BIBLIOGRAFÍA	124
XI	ANEXOS	127

## LISTA DE CUADROS

N°	CONTENIDO	PÁGINA
1.	Localización de las especies recolectadas.....	36
2.	Ubicación geográfica.....	36
3.	Características climáticas y edafológicas de los sitios de recolección	37
4.	Número de muestras recolectadas.....	38
5.	Dimensiones de listones para la elaboración de probetas, para ensayos físicos y mecánicos.....	39
6.	Dimensiones de las probetas y normas utilizadas para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas.....	40
7.	Clasificación y dimensiones de probetas para los ensayos mecánicos....	49
8.	Clasificación de las maderas de acuerdo a su dureza.....	59
9.	Contenido de humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno	60
10.	Prueba de densidades.....	62
11.	Resultados obtenidos prueba de densidad.....	63
12.	Valores promedios del ensayo de resistencia a la flexión.....	66
13.	Resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión estática	66
14.	Resultados obtenidos, prueba de resistencia a la dureza.....	68
15.	Resultados promedios, prueba de resistencia a la dureza.....	68
16.	Valores promedios, prueba de resistencia a la dureza.....	69
17.	Prueba de resistencia al cizallamiento.....	72
18.	Resultados del ensayo de corte o cizallamiento.....	72
19.	Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano.....	74

20. Clasificación de la resistencia a la compresión paralela al grano.....	75
21. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero en estado verde.....	76
22. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al aire.....	78
23. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al horno.....	80
24. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual en estado verde.....	82
25. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual en estado seco al aire.....	84
26. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual en estado seco al horno.....	86
27. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal en estado verde.....	88
28. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal en estado seco al aire.....	90
29. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal en estado seco al horno.....	92
30. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano.....	94
31. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano.....	94
32. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del platuquero, en estado verde.....	95



33. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del platuquero, en estado seco al aire.....	96
34. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del platuquero en estado seco al horno.....	97
35. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del yagual, en estado verde.....	98
36. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del yagual, en estado seco al aire.....	99
37. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del yagual, en estado seco al horno.....	100
38. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del nogal, en estado verde.....	101
39. Prueba de resistencia a la comprensión perpendicular al grano del nogal en estado seco al aire.....	102
40. Prueba de resistencia a la comprensión paralela al grano del nogal en estado seco al horno.....	103
41. Prueba de resistencia a la tracción.....	105
42. Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la tracción.....	105
43. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado verde.....	106
44. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado seco al aire	107
45. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado seco al horno	108
46. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado verde.....	109
47. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado seco al aire	110
48. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado seco al horno	111
49. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado verde.....	112

50. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado seco al aire	113
51. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado seco al horno	114
52. Prueba de trabajabilidad.....	115
53. Clasificación de las maderas de acuerdo a su dureza.....	116
54. Características y propiedades para la clasificación de las maderas de tres especies forestales andinas según sus usos.....	118
55. Uso de las maderas.....	119

## LISTA DE FIGURAS

<b>N°</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.	Ábaco de Kollmann.....	16
2.	Módulo de elasticidad.....	23
3.	Propiedades mecánicas de la madera.....	24
4.	Ley de Hooke.....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Nº</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.	Prueba de contenido de humedad, seca al aire.....	61
2.	Prueba de contenido de humedad, seca al horno.....	62
3.	Prueba de densidad en verde.....	63
4.	Prueba de densidad seca al aire.....	64
5.	Prueba de densidad seca al horno.....	64
6.	Prueba de densidad básica.....	65
7.	Prueba de resistencia a la flexión, con probetas en estado v/sa/sh	67
8.	Prueba de dureza (cara radial) en estados v/sa/sh.....	70
9.	Prueba de dureza (cara tangencial) en estados v/sa/sh.....	70
10.	Prueba de dureza (cara longitudinal) en estados v/sa/sh.....	71
11.	Prueba de dureza (valores promedios) en estados v/sa/sh.....	71
12.	Prueba de resistencia al cizallamiento con probetas en estados v/sa/sh.....	73
13.	Prueba de resistencia a la compresión paralela en estado v/sa/sh	75
14.	Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado verde.....	77
15.	Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al aire.....	79
16.	Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al horno.....	81
17.	Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado verde	83

18. Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado seco al aire.....	85
19. Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado seco al horno.....	87
20. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado verde	89
21. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado seco al aire.....	91
22. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado seco al horno.....	93
23. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero, yagual y nogal en estados: verde, seco al aire y seco al horno.....	95
24. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado verde.....	96
25. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado seco al aire.....	97
26. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado seco al horno.....	98
27. Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado verde.....	99
28. Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado seco al aire.....	100
29. Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado seco al horno.....	101
30. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado verde.....	102

31. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado seco al aire.....	103
32. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado seco al horno.....	104
33. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, yagual y nogal en tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.....	106
34. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado verde	107
35. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado seco al aire.....	108
36. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado seco al Horno.....	109
37. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado verde.....	110
38. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado seco al aire	111
39. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado seco al horno	112
40. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado verde.....	113
41. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado seco al aire...	114
42. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado seco al horno	115

## ANEXOS

- ANEXO 1. Dimensiones lineales promedios por posición de trabajo para prueba de humedad, densidad en estado verde.
- ANEXO 2. Pesos promedios de probetas, para pruebas de contenido de humedad y densidad en estado verde.
- ANEXO 3. Peso promedio de probetas, para cálculo de contenido de humedad en estado verde y seco al horno a 103°C por 24 horas.
- ANEXO 4. Pesos promedios (tomados en diferentes fechas) de probetas para cálculo de contenido de humedad y densidad.
- ANEXO 5. Contenido de humedad de las probetas en diferentes fechas y por especie (Probetas 3x3x10)
- ANEXO 6. Peso promedio de probetas para pruebas de contenido de humedad en estado seco al aire y seco al horno (seco aproximadamente al 12% de contenido de humedad)
- ANEXO 7. Dimensiones lineales promedio por posición de trabajo para prueba de contenido de Humedad y densidad en estado seco al aire y seco al horno (aproximado al 12%)
- ANEXO 8. Contenido de humedad en condiciones seco al aire y seco al horno.
- ANEXO 9. Volumen de las probetas en 3 estados: Verde, seco al aire y seco al horno.
- ANEXO 10. Valores promedios obtenidos en la prueba de Dureza Brinell.
- ANEXO 11. Cuadros comparativos o patrones de identificación.
- ANEXO 12. Laminas de las probetas.

- ANEXO 13. Ilustraciones de las actividades realizadas en la recolección de muestras en los sectores Toldo (Quimiag) y Tambo (Palictahua)
- ANEXO 14. Ilustraciones de los ensayos físicos realizados en el Laboratorio del departamento de ciencias biológicas de la facultad de recursos naturales.
- ANEXO 15. Ilustraciones de los ensayos mecánicos ejecutados en el laboratorio de resistencia de materiales de la escuela de mecánica.
- ANEXO 16. Glosario



# **I. “DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES ESPECIES FORESTALES ANDINAS: PLATUQUERO (*Styloceras sp*), YAGUAL (*Polylepis racemosa*), NOGAL (*Juglans neotropica*).”**

## **II. INTRODUCCIÓN**

Ecuador cuenta con una amplia riqueza forestal, pero falta mucho por hacer con respecto al conocimiento integral de sus especies, de las cuales las más aprovechadas son las del género *Pinus*, sin embargo, existen grupos taxonómicos con un gran número de especies que no son menos importantes.

Por otra parte el sector forestal industrial nacional, enfrenta de manera creciente , retos cada vez más complicados , donde el tema de calidad es pieza fundamental para subsistir en la competencia, desafortunadamente la industria forestal en su conjunto no cuenta con un suficiente conocimiento tecnológico de las especies forestales y si se cuenta con ello, no se les da el uso adecuado, esto se debe en su mayor parte porque no se han realizado los estudios básicos que permitan asignar a cada especie forestal su uso más adecuado. Zavala (1989)

Es de gran importancia, contar con un sistema de clasificación estructural, de las especies forestales y en base de análisis de laboratorio asignarle a cada especie sus valores de resistencia más confiables, con el objeto de brindarles un mejor uso y desempeño. En la mayoría de los países desarrollados, es un requisito indispensable, clasificar a las maderas de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas para brindarles una optima utilización, Robles y Echenique (1983)

Por tal motivo la investigación pretende reunir los elementos necesarios para conocer el comportamiento físico y los niveles de resistencia de las maderas de *Styloceras sp*, *Polylepis racemosa*, y *Juglans neotropica*. Como una contribución al conocimiento tecnológico de las especies forestales andinas del Ecuador, con lo cual se pretende sugerir los usos más adecuados de las maderas en dependencia de sus propiedades, lo que repercute un beneficio directo a los poseedores y transformadores del recurso.

## **A. JUSTIFICACIÓN.**

En la actualidad en nuestro país, el uso de la madera como un elemento estructural ha sido visto con desconfianza e incertidumbre debido a la falta de normativas y conocimiento especializado acerca del tema, lo que hace que se aprovechen pocas especies forestales, ya que al no conocer cuáles son las características de cada madera resulta imposible destinarlas al uso más apropiado y peor aún darles una aplicación industrial inmediata lo cual nos permitiría ahorrar tiempo y esfuerzo en su transformación y utilización desde el punto de vista estructural. Por lo que la presente investigación está dirigida a efectuar el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas que pueden brindarnos igual o mayores bondades que otras especies.

## **B. OBJETIVOS.**

### **1. Objetivo general**

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: PLATUQUERO (*Styloceras sp*), YAGUAL (*Polylepis racemosa*), NOGAL (*Juglans neotropica*)

### **2. Objetivo específico**

- a.** Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las maderas en estado verde, seco al aire y seco al horno.
- b.** Clasificar las especies de acuerdo a su dureza.
- c.** Identificar el uso más apropiado que se debe dar a las tres especies andinas utilizadas en la investigación.

## **C. HIPÓTESIS**

### **1. Hipótesis nula**

Las propiedades físicas y mecánicas no influyen en el uso de las especies.

### **2. Hipótesis alternante**

Las propiedades físicas y mecánicas si influyen en el uso de las especies.

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **A. GENERALIDADES**

Según Kenny Ch. (1999), El bosque ocupa un lugar destacado en el recorrido hacia la industrialización, haciéndose indispensable el conocimiento de la capacidad de producción de los bosques. Desde este punto de vista la demanda de investigaciones en el aspecto forestal se debe a la mayor necesidad de la población la cual aumenta y con ello el requerimiento de su mejor nivel de vida de estos fenómenos determinan una mayor necesidad de productos e industrias forestales como el papel, la madera para construcción y como fuente de combustible, herramientas, alimentos y protección que siempre a proporcionado el bosque a través de los tiempos.

Cabe indicar que las industrias manufactureras requieren un abastecimiento continuo de materia prima siendo la madera el principal producto, por lo que al determinar las propiedades físicas y mecánicas de las tres especies andinas se permitirá conocer su calidad y a partir de esto asignarles una mejor utilización.

#### **B. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES A INVESTIGAR**

##### **1. Platuquero (*Styloceras laurifolium*)**

###### **a. Clasificación taxonómica**

Según Engler's (1982), la clasificación taxonómica de *Styloceras laurifolium* es la siguiente:

<b>Orden:</b>	Buxales
<b>Familia:</b>	Buxaceae
<b>Género:</b>	<i>Styloceras</i>
<b>Especie:</b>	<i>laurifolium</i>
<b>Nombre científico:</b>	<i>Styloceras laurifolium</i>
<b>Nombre común</b>	Platuquero

## **b. Descripción botánica**

### **1) Aspectos generales**

FONTQUER P. (1974) expresa que son árboles perennifolios, que alcanzan hasta 30 m. de alto, poseen tallos simples, su tronco es recto y cilíndrico por lo general, a demás poseen hendiduras longitudinales.



### **2) Corteza**

FONTQUER P. (1974), enuncia que su corteza es de color café oscuro y tiene un espesor de 4 mm, no tiene sabor ni olor.



### **3) Hojas**

Según FONTQUER P. (1974), indica que sus hojas son: alternas, enteras, coriáceas, nervación pinnada, pecíolo acanalado y estipulas ausentes.



### **4) Flor**

Según FONTQUER P. (1974), señala que poseen flores unisexuales, flores femeninas solitarias axilares. Flores masculinas axilares a una bractéola triangular, sin perianto, varios estambres libres, filamentos cortos, anteras gruesas y alargadas con dehiscencia longitudinal.



FONTQUER P. (1974), da a conocer que su fruto es una cápsula globosa con estilos persistentes, de color verde, fruto bastante vistoso.



### c. Distribución ecológica

(Prado L. y Valdebenito H. 2000) Señala que, el género *Styloceras* consta de 4 especies distribuidas desde Colombia hasta Bolivia en el Ecuador están representadas 2 especies, una amazónica y *Styloceras laurifolium*, especie andina, se encuentra por encima de los 3000 msnm.

## 2. Yagual (*Polylepis racemosa*)

### a. Clasificación taxonómica

Según Ulloa C. 1995), la clasificación sistemática de *Polylepis racemosa* es la siguiente:

<b>Orden:</b>	Rosales
<b>Familia:</b>	Rosaceae
<b>Género:</b>	<i>Polylepis</i>
<b>Especie:</b>	<i>racemosa</i>
<b>Nombre científico:</b>	( <i>Polylepis racemosa</i> )
<b>Nombre común:</b>	Yagual

## b. Descripción botánica

### 1) Aspectos generales

Según Prado L. y Valdebenito H. (2000), *Polylepis racemosa* es un árbol de porte pequeño a mediano, mide de 8m a 12m de altura y 20cm a 40cm de diámetro. Su fuste es irregular y nudoso, puede ser único o con varios tallos. Estos árboles tienen abundante ramificación que muchas de las veces nacen desde la base del tronco.



### 2) Corteza

Prado L. y Valdebenito H. (2000), indican que la corteza externa es de color rojiza ó marrón rojizo brillante que se desprenden en forma continua en capas delgadas translúcidas, con la consistencia de laminas de papel de color rojizo, en las ramas jóvenes la corteza externa aumenta considerablemente su diámetro aparente. La corteza interna es muy delgada y de color crema claro.



### 3) Hojas

Prado L. y Valdebenito H. (2000), expresan que las hojas alternas son compuestas e imparipinada, los pecíolos son de 1.5 – 2 cm. de largo, posee 3 pares de folíolos escasamente coriáceos anchamente lanceolados. Con margen entero, haz glabro o brillante, envés con varios tipos de indumento, los folíolos son de casi 3 cm de largo y 1.5 de ancho.



#### 4) Flores

Según Prado L. y Valdebenito H. (2000), son perfectas; con racimos de 100 cm a más de largo con pocas flores, el raquis es cortamente piloso, las brácteas son lanceoladas largamente acuminadas, de 7mm de largo, sépalos 3-4, obovados, verdes, persistentes, pétalos ausentes; estambres 12-18, los filamentos son de 3mm de largo, con ovario supero.



#### 5) Fruto

(Prado L. y Valdebenito H. 2000), enuncian que sus frutos son cónicos, pequeños, secos e irregulares de 5mm de largo y 4mm de ancho mas o menos pubescentes, cada uno de los cuatro ángulos termina en una espina corta, son de color verdusco.



#### c. Distribución ecológica

El género *Polylepis* es uno de los pocos árboles de la sierra que crece en las partes altas, las especies se encuentran en los Andes Central y Sur del Perú hasta Bolivia; esta especie es introducida a nuestro país desde las Punas peruanas, se distribuye en las Provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Tungurahua. Se encuentra entre los 2600- 4500 msnm. (Catalogo de las plantas vasculares del Ecuador)

*Polylepis racemosa* se encuentra entre los 3500-4300 msnm, y parece estar restringida a las laderas secas lado oeste de la cordillera occidental. Estas especies crecen en zonas con temperatura promedio anual de 30°C A 12°C. Soporta las condiciones mas extremas de frío y altitud, resistente a las heladas frecuentes. BRANBYGE HOLM (1987)



### 3. Nogal (*Juglans neotropico*)

#### a. Clasificación taxonómica

Según Ulloa C. (1995), la clasificación sistemática de *Juglans neotropico* es la siguiente:

<b>Orden:</b>	Fagales o Juglandales
<b>Familia:</b>	Juglandaceae
<b>Género:</b>	<i>Juglans</i>
<b>Especie:</b>	<i>neotropico</i>
<b>Nombre científico:</b>	( <i>Styloceras laurifolium</i> )

#### b. Descripción botánica

##### 1) Aspectos generales

Prado L. y Valdebenito H. (2000) indican que son árboles caducifolios, grandes de hasta 25m de alto, tiene fuste recto y cilíndrico.



##### 2) Corteza

De cuerdo a Prado L. y Valdebenito H. (2000), manifiestan que su corteza externa es agrietada, olorosa de color marrón oscuro a negruzco, con un espesor de 6mm, con placas rectangulares que se desprenden solas. La corteza interna es de color crema claro.



### 3) Hojas

Prado L y Valdebenito H (2000), indican que sus hojas son pinnadas de 20-90 cm de largo, sus folíolos son elípticos a lanceoladas, base asimétrica, color del haz verde oscuro, envés verde claro, hojas compuestas, alternas, nerviación penninervia, coriácea, borde aserrado, no presenta estípulas.



### 4) Flor

Prado L y Valdebenito H (2000), dan a conocer que las flores femeninas se presentan en espigas rectas y las masculinas en amentos de color amarillo verdoso de 10 a 20cm, la época de floración va de octubre a enero, Inflorescencia en amentos.



### 5) Fruto

(Prado L y Valdebenito H 2000), enuncian que los frutos son globosos, de 4cm a 6cm de diámetro, con la superficie lisa. En el interior poseen una pulpa carnosa y una pepa muy dura y leñosa con una semilla blanquecina, comestible.



### **c. Distribución ecológica**

El género *Juglans* se halla en Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú. Se los encuentra entre 1600 y 2500 msnm, en biomasa donde la temperatura media oscila entre 16 y 22 °C, y precipitación anual de 1 a 3 m distribuidas a lo largo del año. No se comporta bien si está cerca de cursos de agua. Naturalmente aparece en una gran variedad de bosques premontanos y montanos, y muy abundantemente en bosque nubosos. Está amenazada por pérdida de hábitat. Constante (1986).

## **C. LA MADERA**

Según Pérez (1983), manifiesta que la madera es un producto orgánico natural, presentando las características de un material complejo y variable. Además, se ha comprobado mediante investigaciones efectuadas por diferentes autores, que las propiedades de las maderas varían de la misma forma que las especies vegetales, según las zonas geográficas y los climas. De esta manera, unas especies vegetales desarrolladas en la misma zona, pero en terrenos diferentes en cuanto a altitud, humedad o composición, acusan notables diferencias.

La madera está constituida por células de diversas formas, con paredes de espesores variados y dispuestas diferentemente según las especies, pero siempre orientadas en las direcciones ortogonales principales (longitudinal, radial y tangencial). Estas células forman la estructura peculiar de la madera, y explican su naturaleza heterogénea y anisótropa. En virtud de ello, las características de las maderas varían de un punto a otro, y también sus resistencias se modifican según las direcciones consideradas. Pérez (1983)

### **1. Secado de la madera**

Radica su importancia, en la necesidad de contar con piezas de madera que mantengan sus dimensiones, frente a cambios climáticos del lugar de destino. La madera contiene humedad en su interior. Si una madera tiene un 70% de humedad, significa que 30% es madera y 70% es agua; esto se aprecia cuando se toca la madera. Por el contrario, si la

madera tiene un 10% de humedad, significa que el 90% es madera y el 10% es agua; se aprecia cuando al tocar la madera, ésta se encuentra seca y es más liviana.

El proceso de secado de una pieza de madera recién aserrada, se puede describir de la manera siguiente. La madera se deja a la intemperie bajo techo, ésta comienza a perder humedad y sus dimensiones iniciales se reducen. Conforme pasan los meses, la madera se va secando hasta que su contenido de humedad alcanza un 12 por ciento, esto lo logra en un lapso de seis meses a dos años, dependiendo del clima, del espesor de la pieza y de las condiciones de almacenamiento. En este tipo de secado al aire libre, las dimensiones de la pieza de madera no son estables es decir varían según la humedad del ambiente.

Si la pieza de madera seca al aire, es colocada en un ambiente donde hay una fuente de calor, la madera se seguirá secando hasta alcanzar 8 a 10% de humedad. Pero si el secado es brusco (con una elevada temperatura), la madera puede sufrir defectos, como rajaduras, deformaciones, despegue en la línea de la cola si está formada por dos piezas, etc.

Si el secado es lento puede no presentar defectos, lograr una humedad menor al 6% y mantener sus dimensiones. En resumen, es importante aplicar algún método de secado a la madera, a fin de evitar la presencia de defectos durante su uso, y poder obtener productos de calidad.

Los métodos de secado de madera más conocidos y usados en nuestro medio son: Al aire libre o secado natural y en hornos con una fuente de calor.

#### **a. Secado al aire libre o natural**

Consiste en exponer la madera a la acción del medio ambiente, puede ser directo al sol o con una cubierta, que lo proteja de los rayos solares y la lluvia en cierta época del año. La aplicación de esta técnica requiere de un área, llamada patio de secado, cuyas dimensiones dependerán del lote de madera a secar. El patio de secado debe ubicarse en una parte alta, que no acumule agua ni sea inundable. Debe estar libre de vegetación, de

basura, corteza, viruta o aserrín que se produce al aserrar la madera. La madera antes de ser apilada debe seleccionarse, formando lotes de tablas de una misma especie, dimensión (sobre todo el largo y el espesor) y calidad.

### **b. Secado al horno**

Es otro método de secado poco usado en nuestro medio, debido al costo inicial que implica la construcción del horno.

El horno de secado de madera, es un ambiente rectangular cuyo tamaño varía de acuerdo al volumen de madera a secar. En él, la madera recibe calor en forma indirecta a través de aire caliente, que es forzado a circular a través de la madera mediante ventiladores. Este aire caliente absorbe la humedad de la superficie de la madera y la arrastra hasta las salidas, por donde desfogó el aire húmedo. El aire una vez que ha perdido la humedad, circula nuevamente a través de las pilas de madera, formando una corriente de aire continua, que va secando la madera. Este sistema permite secar los tablones de madera en menos tiempo que el requerido al aire libre. Así si una tabla de pino requiere tres meses para secar al aire, en horno sólo necesita de 10 a 15 días, dependiendo del contenido de humedad con que ingresa.

## **2. Propiedades físicas de la madera**

Karsulovic J. (1982), manifiesta que las propiedades físicas de la madera están determinadas por los factores inherentes a su organización estructural. Es decir 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 estos pueden resumirse en:

La cantidad de sustancia presente en la pared celular en un volumen de madera determinado este factor se mide por medio del peso específico o la densidad, y estas propiedades son los índices más útiles para predecir el comportamiento físico de la madera.

La cantidad de agua presente en la pared celular, es el segundo factor que afecta profundamente el comportamiento físico de la madera, no sólo porque la adición de agua a la pared celular cambia su densidad y dimensiones, sino también por su efecto sobre la plasticidad y transferencia de energía dentro de la pieza de madera.

La proporción de la composición de los componentes químicos primarios de la pared celular y la cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas presentes, el tercero de estos factores es responsable de las propiedades especiales de algunas maderas, así como de las desviaciones o variabilidades que presentan en su comportamiento cuantitativo.

El arreglo y orientación de los materiales de la pared en la célula y en los diferentes tejidos. Y el tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células que conforman el tejido maderable. Los dos últimos factores son la causa de las grandes diferencias que se encuentran en la respuesta físico-mecánica de la madera con respecto a la dirección del grano (fibra), o comportamiento anisotrópico de la madera.

#### **a. Contenido de humedad**

Según Pérez (1983) y Cuevas (2003), La madera es una sustancia higroscópica, es decir, tiene afinidad por el agua en forma líquida y gaseosa. Esta propiedad de la madera es dependiente de la temperatura y la humedad de la atmósfera circundante.

En consecuencia, el contenido de humedad de la madera variará con los cambios en las condiciones atmosféricas que la rodean. Todas las propiedades físicas de la madera son grandemente afectadas por las fluctuaciones en el contenido de humedad. Para utilizar la madera en forma adecuada es imprescindible conocer su contenido de humedad, entender su localización y el movimiento del agua a través de ella.

Pérez (1983) y Cuevas (2003) manifiestan que, se entiende por contenido de humedad como “la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra”. El peso anhidrido de la probeta, es el peso que se obtiene por desecación en estufa a una temperatura de 100 a 102 °C hasta que se obtiene un peso constante. La

variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma. Estos movimientos sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30%), a partir del 30% sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

Según Cuevas (2003), el contenido de humedad se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{C.H. (\%)} = \frac{\text{P}_i - \text{P}}{\text{P}} \times 100 \quad (\text{ecuación 1.1})$$

**CH**= contenido de humedad que tiene como unidad porcentaje.

**P<sub>i</sub>** = masa inicial de la madera que tiene como unidad gramos.

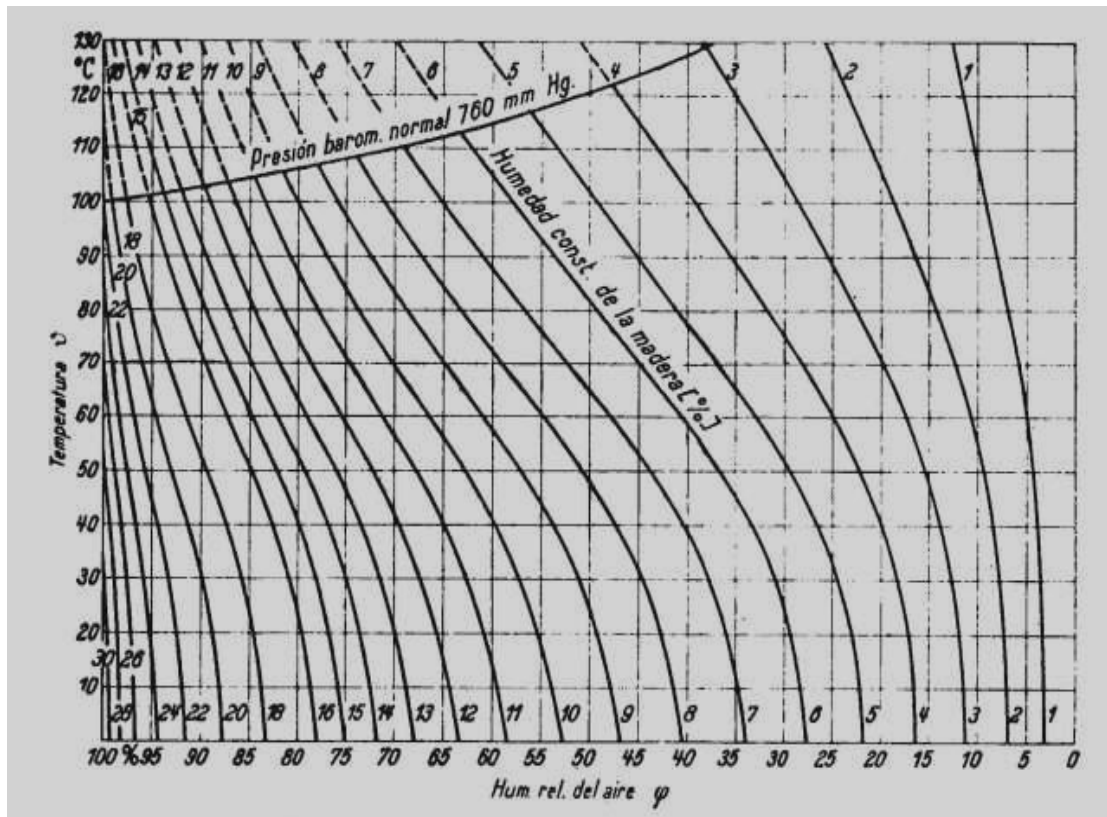
**P** = masa de la madera en estado anhidro que tiene como unidad gramos.

Kollmann (1959), comprobó que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas y elaboró un ábaco adjunto (figura 1) para determinar este valor. O sea, cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa del aire), la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas alcanzando un valor máximo de 30%.

Kollmann (1959), cita que de la humedad dependen casi todas sus propiedades de resistencia, su mayor o menor aptitud para su elaboración, su poder calorífico, las propiedades del gas pobre que puede generar, el rendimiento y la cantidad de celulosa y su resistencia al ataque de hongos.

El mismo autor informa que, la variación de la humedad da lugar a cambios de volumen y deformación de la madera.

Figura 1. Ábaco de Kollmann



La humedad máxima que puede tener una madera cuando se expone a un ambiente saturado, según el ábaco de Kollmann, alcanza un valor medio aproximado del 30%, aunque en realidad el valor mínimo de contenido de agua en ese punto pueda ser de un 22 % y el máximo de un 35 %. Este punto de humedad que satura todos los huecos existentes entre las fibrillas elementales, entre las micro fibrillas y entre las fibras que componen la pared celular, se denomina punto de saturación de la pared celular o de la fibra (PSF). Para que la madera adquiriera más humedad que la correspondiente al PSF, es necesario sumergirla en agua y llenar así los espacios existentes en el lumen celular. Este punto resulta crítico pues a partir de él no se producen cambios dimensionales.

### 1) Método de secado en estufa o pesado

De acuerdo al (Manual de secado de madera en hornos), para determinar el contenido de agua en la madera, se utiliza con frecuencia el método gravimétrico. Se corta una probeta de un largo de 3 a 4 cm en la dirección de las fibras y se pesa con una precisión de 0,1 g. En seguida, la probeta se seca en una estufa a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$



por 24 horas y se pesa nuevamente (P). Finalmente se calcula el porcentaje del contenido de agua con la (ecuación 1.1).

## **b. Densidad**

Delgado G. (1975), define a la densidad, como la relación entre la masa de una probeta y su volumen.

La densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Ananías (1993).

El contenido de humedad de la madera influye sobre la relación madera-volumen, es decir es afectado el peso y las dimensiones de la madera. Ananías (1993).

Como se sabe, la densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

La Norma Chilena (1986) Mod. (1988) Madera-Parte 2: Determinación de la densidad, establece las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza.

### **1) Densidad de Referencia**

Es la relación entre la masa y el volumen de la probeta, determinados ambos a un mismo contenido de humedad, para este tipo densidad se definen:

- Densidad Anhidra: Relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).

- Densidad Normal: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%, de acuerdo a la densidad normal las maderas pueden clasificarse técnicamente en:
  - Pesadas si es mayor de 0.8 g.
  - Ligeras , si esta comprendida entre 0.5 y 0.7 g
  - Muy Ligeras , las maderas de 0.5 g

## **2) Densidad Básica**

Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.

## **3) Densidad Nominal**

Relaciona la masa de la probeta en estado anhidrido y volumen de la probeta al contenido de humedad en el ensayo (generalmente 12% CH)

## **4) Medición de la densidad**

La determinación de la densidad puede ejecutarse midiendo la masa y el volumen de la madera mediante métodos muy sencillos. La medición directa de la masa y el volumen de madera, se realizan pesando la madera en una balanza con una precisión de 0,1 g y luego recogiendo las dimensiones en espesor, ancho y largo de la madera, para poder calcular con ellas su volumen. Cuando la madera no tiene una forma regular, se recomienda medir el volumen por inmersión en agua. Una forma muy práctica de medir el volumen según este método, está basado en el principio de Arquímedes, esto es, se pesa un recipiente con agua y luego en el mismo recipiente con agua se introduce la madera sumergiéndola completamente y se vuelve a pesar el recipiente con la madera sumergida en él. La diferencia de peso es igual al volumen de la muestra de madera, ya que se asume que la densidad del agua es igual a 1 g/cm<sup>3</sup>. Si se desea determinar el volumen por inmersión en agua para estimar la densidad de referencia a 12 % de humedad, la norma sugiere impermeabilizar previamente la muestra de madera con

parafina sólida caliente, o usar un fluido de densidad conocida y que no tenga afinidad con la madera, tal como la inmersión mercurio. Si se desea determinar la densidad básica de la madera, se debe saturar con agua la muestra de madera, luego medir el volumen por inmersión o por medición directa y posteriormente secar en estufa a 103 °C por 24 horas para obtener la masa anhidra de la muestra de madera. (Manual de secado de madera en hornos)

### **c. Contracción e Hinchamiento**

Ananías (1993), menciona que la madera contiene una cierta cantidad de agua depositada en los lúmenes celulares y en las paredes celulares de las fibras. Normalmente cuando la madera intercambia humedad de la pared celular, se producen a consecuencia de este intercambio, variaciones en las dimensiones de la madera, las que son conocidas como contracción o hinchamiento

Como la madera tiene un comportamiento anisotrópico, (es decir que sus propiedades físicas y mecánicas varía en función de la dirección de las fibras que se considere: dirección axial o longitudinal, dirección radial y dirección tangencial) los cambios dimensionales normales de la madera son de magnitudes diferentes en las direcciones tangenciales (corte tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol) radiales (el corte tiene dirección paralela a los radios) y longitudinales (corte en dirección perpendicular al eje del tronco). La contracción tangencial es 1,5 a 3 veces mayor que la contracción radial y la contracción longitudinal es normalmente baja en la madera.

Las diferencias entre contracción tangencial y radial son debidas por una parte al potencial favorecimiento de la contracción en el sentido tangencial, y por otra a la restricción a los cambios dimensionales que ejercen los radios leñosos en la dirección radial de la madera. La limitada contracción longitudinal es debida a la orientación longitudinal de los principales tejidos constituyentes de la madera.

Ciertos defectos que ocurren durante el secado de la madera son ocasionados por las diferencias de contracción tangencial y radial, particularmente el defecto denominado

acanaladura. La contracción longitudinal excesiva puede ocasionar los defectos denominados. Ananías (1993).

Acosta S. (1960), informa que el peso específico y las contracciones, son propiedades que tiene influencia directa en todos los aspectos de trabajo de la madera, ya que si sus valores son altos o bajos las propiedades también serán altas o bajas así como los grados de deformación.

#### **d. Hendibilidad**

Según, Karsulovic (1982) es la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

Se llama también facilidad a la raja y es la aptitud de las maderas a dividirse en el sentido longitudinal bajo la acción de una cuña. El rajado es más fácil, en sentido de los radios, siendo más hendibles cuando más duras y densa cuando carecen de nudos.

#### **e. Conductibilidad**

Karsulovic (1982), señala que esta propiedad depende en la madera, especialmente de su contenido de humedad. La madera seca tiene una resistencia eléctrica muy alta, que prácticamente no puede correr electricidad. La conductibilidad aumenta conforme sube el contenido de agua de constitución, hasta llegar al punto de saturación de la fibra.

La madera seca es mala conductora del calor y electricidad, no así cuando esta húmeda. La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en radial o transversal, y más en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean como aisladores térmicos en los pavimentos y paredes.

## **f. Durabilidad**

Karsulovic (1982) manifiesta que la duración de la madera varía mucho con la clase y medio. A la intemperie, y sin impregnar depende de las alternativas de sequedad y humedad. ; Aquellas maderas desarrolladas en terrenos húmedos tienen la capacidad de durar largo tiempo sumergidas en agua, pero expuestas al aire se pudren agrietar con facilidad; en general, las maderas blandas duran menos que las duras. Citando algunos ejemplos: el roble dura cien años; álamo, sesenta a noventa años; pino, alerce, cuarenta a ochenta años; sauce dura treinta años.

## **g. Elasticidad – Deformabilidad**

Pérez (1983) señala que bajo cargas pequeñas, la madera se deforma de acuerdo con la ley de Hooke, o sea, que las deformaciones son proporcionales a las tensiones. Cuando se sobrepasa el límite de proporcionalidad la madera se comporta como un cuerpo plástico y se produce una deformación permanente. Al seguir aumentando la carga, se produce la ruptura. Este módulo dependerá de la clase de madera, del contenido de humedad, del tipo y naturaleza de las acciones, de la dirección de aplicación de los esfuerzos y de la duración de los mismos.

Una madera es elástica cuando vuelve a tomar su primitiva posición tan pronto como se retiran las cargas que actuaron sobre la pieza. La elasticidad es mayor en la base del árbol, que en la copa, cuanto mas seca es la madera menos será la elasticidad y generalmente la madera más pesada es más elástica.

## **h. Dilatación**

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, siendo mínima en la dirección axial o de las fibras, no pasa del 0.8 por ciento; de 1 a 7.8 por ciento, en dirección radial, y de 5 a 11.5 por ciento, en la tangencial.

Los coeficientes de dilatación de la madera dependen de la dirección de las fibras, siendo los coeficientes transversales alrededor de un orden de magnitud más grandes que los coeficientes longitudinales.

#### **a. Dilatación lineal**

Stopin (1996), indica que el coeficiente de dilatación lineal es exclusivo a cada material, se lo encuentra tabulado y se considera constante para variaciones de temperatura y significa la variación de longitud que experimenta la unidad de longitud por cada grado centígrado de incremento que cambie su temperatura.

### **3. Propiedades mecánicas de las maderas**

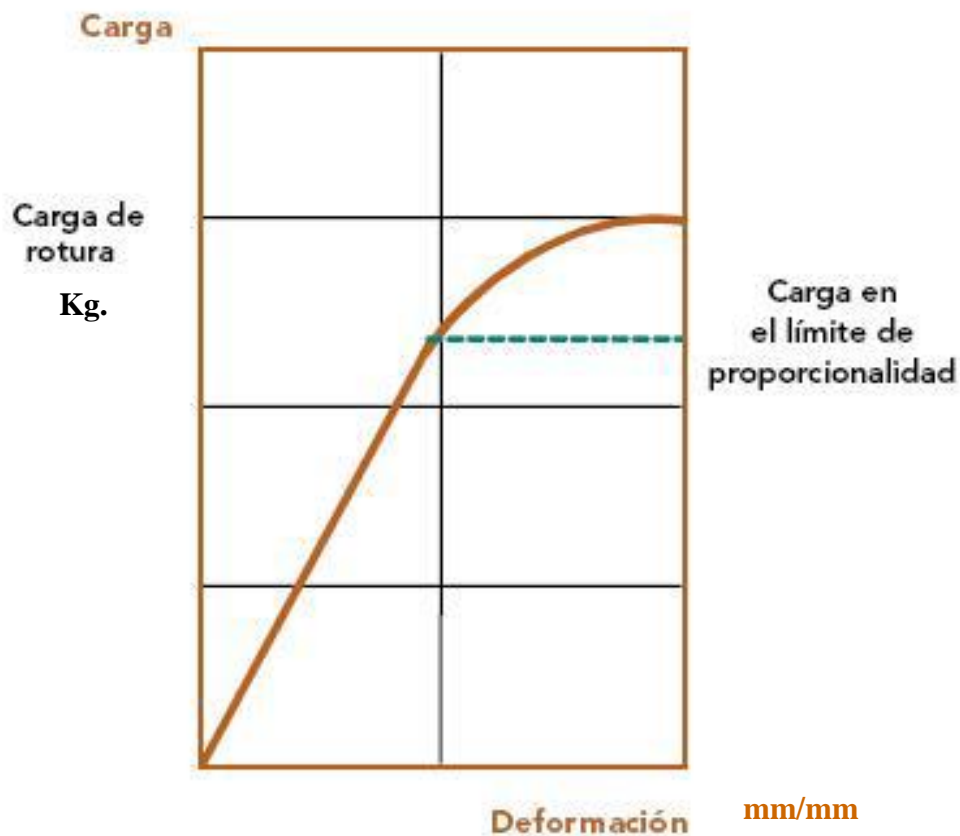
Según, Cuevas E. (2003), las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas o sollicitaciones externas. Se entiende por fuerza externa, a cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida. El esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie es la llamada tensión unitaria. Cuando la carga aplicada a un cuerpo aumenta, se produce una deformación que se incrementa paulatinamente. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo se puede representar gráficamente por una recta, hasta el punto donde se inicia el límite elástico del material ensayado, si se sigue aumentando la carga, se logra la rotura del material. Cuevas E. (2003)

El límite elástico se define como el esfuerzo por unidad de área de la superficie, en que la deformación crece en mayor proporción que la carga que se aplica, el esfuerzo necesario para sollicitar un material hasta llegar al límite elástico, determina la tensión en el límite de proporcionalidad, que es la carga máxima a la cual se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes. Fritz (2004)

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad o capacidad que tiene para resistir la deformación al ser solicitado por fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud, cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera. Fritz, (2004)

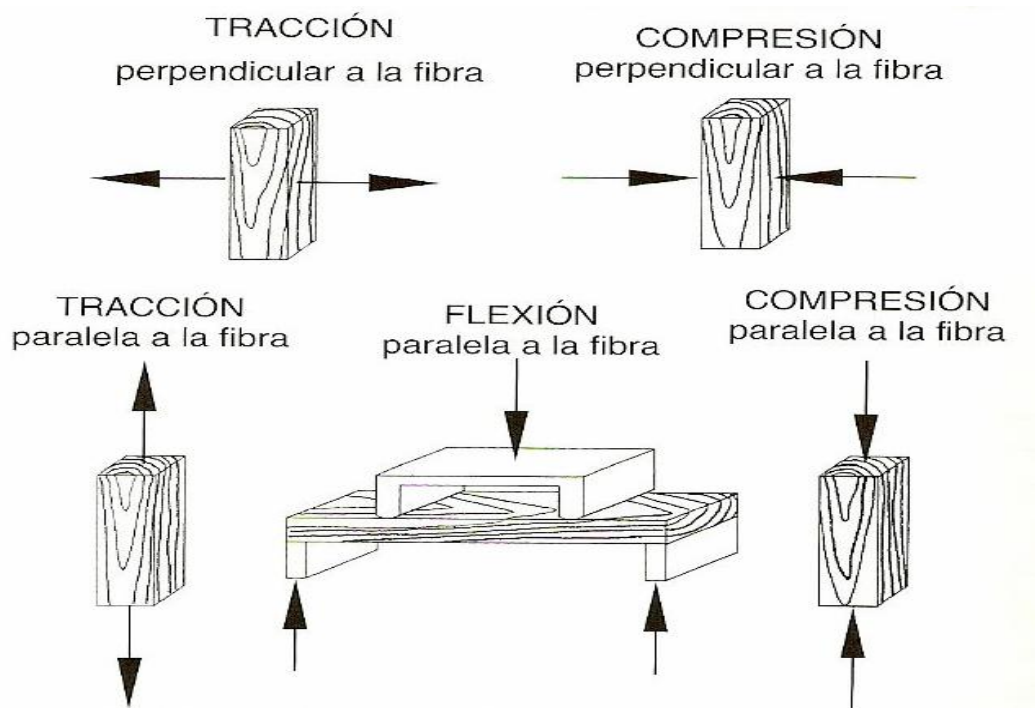
**Figura 2. Modulo de elasticidad**



Fuente: Fritz “Manual de construcción en madera” (2004).

Según Cuevas (2003), las diferentes solicitaciones a que puede estar sometida la madera son las siguientes: Flexión estática, compresión, tracción, dureza, cizalle, trabajabilidad.

**Figura 3. Propiedades mecánicas de la madera**



Fuente: Cuevas. Ensayos mecánicos de la madera 2003

#### **a. Flexión estática**

Karsulovic (1982) señala que es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad

La flexión es una combinación de tres esfuerzos, tracción, compresión y cizalle. Estas causan la curvatura o deformación del cuerpo, con la parte superior cóncava (en compresión), la inferior convexa (en tracción) y el plano neutro tendiendo a resbalar entre las dos fuerzas opuestas (en cizalle)

Delgado G (1975), enuncia que de los ensayos de laboratorio indica que se obtienen varios valores que los definen así:



### **1) Esfuerzo de las fibras al límite proporcional**

Esfuerzo que se produce en las fibras de una viga sometida a tensión y compresión hasta la carga al límite proporcional, es decir hasta cuando deja de existir una correlación lineal entre el esfuerzo y la deformación. También se define como el esfuerzo máximo a la compresión que es menos variable y más fácil de obtenerlo.

### **2) Módulo de ruptura**

Esfuerzo computado en el tope y fondo de fibras de una viga sometida a la carga máxima que ocasiona la falla. Es un valor aproximado de un verdadero esfuerzo, puesto que la fórmula para el cálculo se basa en suposiciones válidas solamente hasta el límite proporcional.

Delgado G (1975), afirma que es el esfuerzo desarrollado por la madera en el momento de la falla.

### **3) Módulo de elasticidad**

Es la medida de rigidez de la madera y no de la resistencia, manifiesta Toledo.

Delgado G (1975), indica que es la fuerza necesaria para alargar una pieza de  $1\text{cm}^2$  al doble de su longitud

#### **b. Compresión**

Según, Campos (1990) se distinguen dos tipos de fuerza de compresión según el sentido de la aplicación de la fuerza, compresión paralela y compresión perpendicular a la fibra.

La compresión paralela ocurre cuando una fuerza actúa de madera paralela a la fibra paralela y corresponde a “La resistencia que opone una viga a una carga aplicada en el mismo sentido de la dirección de la fibra.

La comprensión perpendicular ocurre cuando la fuerza solicitante actúa en dirección perpendicular a las fibras, y corresponde a “la resistencia que opone la madera a una carga aplicada en sentido perpendicular en dirección de las fibras en una cara radial de la probeta.

Delgado G (1975), enuncia que según la acción de la carga se distinguen dos tipos: La que actúa sobre toda el área y la actuante sobre una parte por lo que se presentan dos casos: La carga que actúa como durmiente y la que actúa como punzón, en la realidad se encuentra muy a menudo que actúa solamente en una parte del área, por lo que la resistencia de la madera es mayor, pues el área no afectada por la carga es capaz de absorber las tensiones.

### **c. Tracción**

Cuevas E (2003), expresa que la madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), viéndose limitado su uso únicamente por la dificultad de transmitir estos esfuerzos a las piezas. Esto significa que en las piezas sometidas a tracción los problemas aparecerán en las uniones. Si se realiza un esfuerzo de tracción en la dirección axial, la magnitud de la deformación producida será menor que si el esfuerzo es de compresión, sobre todo en lo que concierne a las deformaciones plásticas. Es decir que la rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil. La resistencia a la tracción de la madera presenta valores elevados. La resistencia de la madera a la tracción en la dirección de las fibras, se debe a las moléculas de celulosa que constituye, en parte, la pared celular.

Según, el (sistema SI) para el estudio de las propiedades de los materiales y para obtener las dimensiones admisibles, se ensayan en probetas de estos materiales, hasta ser destruidos, utilizando diversos tipos de cargas como son: Estática, de impacto y cíclicas, que actúan sobre las estructuras y sus elementos están constituidas por fuerzas y pares (momentos). Estas cargas pueden ser concentradas o distribuidas. En efecto, en la naturaleza no existen fuerzas concentradas. Todas las fuerzas reales son fuerzas distribuidas sobre cierta área o volumen. Las fuerzas concentradas se miden en kilogramos o toneladas o en newton.

Vilela E (1969) manifiesta que las cargas distribuidas pueden ser de superficie (presión del viento o del agua sobre una pared) o volumen (peso propio de un cuerpo).

El peso de una barra se interpreta, generalmente no como una fuerza de volumen sino como una carga distribuida a lo largo de la barra (carga lineal), ya que las dimensiones transversales son pequeñas en comparación con la longitud de área o de volumen. Tanto las cargas concentradas como las distribuidas pueden ser estáticas o dinámicas.

### **1) Cargas estáticas**

Las cargas cuya magnitud o punto de aplicación o dirección varía muy lentamente, de tal manera que se puede prescindir de las aceleraciones que surgen, se llaman cargas estáticas. Cuando actúan cargas de este tipo, las vibraciones de las estructuras y sus elementos son insignificantes.

### **2) Cargas dinámicas**

Las cargas que varían con el tiempo a una velocidad considerable se llaman cargas dinámicas (por ejemplo cargas de impacto). La acción de este tipo de fuerzas van acompañadas de vibraciones de las estructuras, durante las cuales al variar la velocidad de las masas y las aceleraciones. La magnitud de estas fuerzas de inercia puede superar en muchas veces a las de cargas estáticas.

Todo ensayo de tracción se realizará con el fin de obtener las características mecánicas del material. En el ensayo se traza un diagrama de la relación que existe entre la fuerza que estira a la probeta y alargamiento de ésta, pudiendo determinar así el límite de fluencia, límite de resistencia, carga máxima y carga de ruptura.

### **d. Dureza**

Cuevas E. (2003) define como la resistencia que opone la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, etc. La dureza está

relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo ya sea realizado manual o mecánicamente.

Se determina por el método de Brinell, con bola de acero de 10 mm de diámetro, sometida a cargas de 200, 500 y 1000 kg. Los ensayos se realizan, generalmente, en el sentido de las fibras y en sentido normal a las fibras. Esto sirve de base para una de las clasificaciones más usuales de madera, en cuatro grupos: muy duras, duras, semi-duras y blandas

Delgado G. (1975), indica que la dureza es la resistencia de un cuerpo a la penetración de otro cuerpo, el que debe ser más duro que el otro cuerpo penetrado. Debido a la falta de homogeneidad de la madera, alternancia de los anillos de crecimiento, es difícil definir a la dureza de la madera por un solo ensayo.

Según, Vilela E. (1969) se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial del material, de resistir a la deformación elástica o a la destrucción en presencia de las acciones de contacto locales inferidas por otro material mas duro: que no se somete a la deformación residual del cuerpo (penetrador o indentor) de determinada forma y dimensión.

Los procedimientos de determinación de la dureza, pueden ser estáticos y dinámicos, con métodos de penetración y rayado de corta duración y de larga duración, de corta duración realizados a temperatura ambiente y los de larga duración realizados evaluando las temperaturas más elevadas a las que tiene el material.

#### **e. Cizallamiento**

Torres H. (1982), manifiesta que es la capacidad de la madera para resistir la acción de las fuerzas paralelas y opuestas que tienden a producir deslizamiento de unas fibras con relación a otras. Los esfuerzos de cizallamiento tienen lugar en mayor grado, o menor grado en casi todos los usos de la madera y se clasifican de acuerdo a la dirección en que la fuerza actúa respecto a los planos estructurales de la madera.

Carrillo P. (1989), otro criterio sobre cizallamiento, es que el esfuerzo que oponen las moléculas de una pieza a la acción de las fuerzas paralelas que tienden a cortar la sección transversal de la madera.

Zavala P. (1992), enuncia que en elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los análisis teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento, como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de las piezas, presentan distinta resistencia al corte de estas dos direcciones.

La menor es aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad del “Cementante” de las fibras la lignina a este esfuerzo. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es de 3 a 4 veces mayor que en la dirección paralela.

#### **f. Tenacidad**

Cuevas E. (2003), se refiere como la capacidad de la madera para resistir cargas repentinas (golpe o choque). Generalmente las fibras de madera de alta tenacidad, están entrecruzadas lo cual hace que la madera sea difícil de hendir o rajar o la separación de las fibras. Estas maderas se doblan o tensionan mucho más, sin romperse o fracturarse.

Ernitz A. (1961), señala de una manera general, que el ensayo al choque, es un ensayo de una importancia muy particular, permite no solamente clasificar las resilientes a los ejemplos móviles, sino también determinar de una manera rápida y precisa las muestras anormales cualquiera que sea su utilización.

Anderson y Leaver. (1978) señala que la tenacidad es la propiedad de la madera que tiene relación con el trabajo requerido, para causar la ruptura de la pieza de madera; la tenacidad depende fundamentalmente de la resistencia y de la ductibilidad de la madera.

## **g. Trabajabilidad**

Cuevas E. (2003) manifiesta que es un conjunto de propiedades o características que posee una determinada madera con relación a su respuesta al trabajo manual o a la acción de las herramientas manuales o eléctricas. Se dice entonces que una madera posee buena trabajabilidad cuando responde bien al corte, al cepillado, al clavado, al atornillado, al lijado, al torneado, al engomado o encolado etc.

Por definición de Zavala P. (1992), labrar es trabajar una materia hasta convertirla a formas convenientes. De acuerdo con esta definición, el termino “labrado de madera” es aplicable a la mayoría de las operaciones de corte, sin embargo en términos específicos, se admite que el labrado de la madera con maquina se lleva a cabo para dar forma y calidad a las superficies de materiales semielaborados o elaborados, como por ejemplo: El moldurado de la madera aserrada, el lijado de tableros aglomerados, el taladrado de piezas estructurales.

Según Anderson y Leaver (1978), cualquier que sea el método de investigación que se utilice, la metodología usada en medir el comportamiento de la madera es importante. Aunque la fuerza necesaria para el procesamiento y la velocidad de giro que se les dé a las cuchillas son importantes, el aspecto que más se tiene en cuenta y es más utilizado para la media del comportamiento en los procesos de trabajabilidad, es la suavidad de la superficie.

## **D. OTRAS PROPIEDADES DE LA MADERA**

### **1. Aplicaciones de la madera**

El Manual de Productos forestales (1996), enuncia que de acuerdo a sus propiedades, las maderas presentan diversas aplicaciones. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que ninguna propiedad de la madera por si sola la hace apta para una aplicación determinada, sino que se debe contemplar la combinación de atributos requeridos para cada una de las aplicaciones, la madera puede ser empleada como:

- Postes para cerco de ganado, conducción de los cables eléctricos del teléfono.
- Construcción de corrales, galpones e incluso casas; se emplea las vigas, viguetas, vara.
- Construcción de puentes, muelles y embarcaderos.
- Fabricación de arados, mangos de herramientas de labranza o de carpintería.
- Tablas para piso o cielo raso.
- Muebles para casa (sala, comedor, reposteros) u oficina (escritorios).
- Construcción de casas.
- Enchapes de paredes.
- Carrocerías de camiones.
- Hormas para zapatos.
- Palos de escoba, palos de fósforos, palos para helados.
- Adornos (lámparas, marcos de cuadros, estantes, papeleros, etc.)
- Fabricación de juguetes y juegos infantiles para jardín.
- Artesanías.

#### **a. La madera como combustible**

El Manual de Productos forestales (1996), indica que la madera usada directamente o carbonizada, fue hasta hace 100 años la principal fuente de calor utilizada por el hombre. Al aumentar la demanda térmica, por el extraordinario progreso industrial y la consiguiente elevación del nivel de vida, cedió su lugar a combustible de mayor potencia calorífica, como los carbones y aceites minerales, que, por el adecuado perfeccionamiento de los procesos de transformación de energía pudieron aprovecharse en condiciones económicas sumamente favorables.

## **2. Características físico – químicas**

La composición química media de la madera, según el Dr. Juan Scharoeder es:

Celulosas y hemicelulosas .....	50—60%
Lignina.....	20—30%

Proteína.....	0.5—3 %
Resinas y ceras.....	0.7—3 %
Cenizas.....	0.2—2 %

## E. NORMAS EMPLEADAS

Ernitz A. (1961) señala que para determinar los usos posibles de una madera, es necesario conocer sus propiedades físicas y mecánicas; esto permite compararlas con otras maderas conocidas; y por analogía indicar las pruebas adicionales necesarias para señalar su utilización, para que esto sea posible se requiere que (se distingan unas de otras), las normas del ensayo aplicado, se han utilizado en otros centros de ensayos de maderas. Hasta 1965 todos los ensayos se realizaban según Normas ASTM D 143, pero a partir de 1966 hubo que hacer ciertos cambios.

Las Normas utilizadas en los diferentes ensayos son:

- COPANT , Comisión Panamericana de Normas Técnicas
- DIN, Norma Industria Alemana
- ASTM , Sociedad Americana para ensayos de materiales

### 1. Análisis de la Ley de Hooke o elasticidad

Para poder desarrollar los diferentes ensayos debemos tener presente que la parte de la mecánica que estudia el equilibrio de los cuerpos, bajo la acción de fuerzas, se denomina ESTÁTICA, y se la puede definir como: *parte de la Mecánica que estudia las condiciones que deben cumplirse para que un cuerpo, sobre el que actúan fuerzas, permanezca en equilibrio.* Sanger A. (2005)

La Ley de Hooke describe fenómenos elásticos. Esta ley afirma que la deformación elástica que sufre un cuerpo es proporcional a la fuerza que produce tal deformación, siempre y cuando no se sobrepase el límite de elasticidad. En 1678 publica la ley conocida como Ley de Hooke: “La Fuerza que devuelve un material a su posición de



equilibrio es proporcional al valor de la distancia que se desplaza de esa posición".  
Sanger A. (2005)

$$\mathbf{F} = \mathbf{K} \cdot \Delta \mathbf{X}$$

Donde:

$\mathbf{F}$  = fuerza aplicada

$\mathbf{K}$  = constante de proporcionalidad

$\Delta \mathbf{x}$  = variación de longitud

Para poder comprender aún mejor esta Ley, es necesario también tener conocimientos básicos de ELASTICIDAD.

#### **a. Elasticidad**

Es la propiedad de un material que le hace recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimido o estirado por una fuerza externa. Cuando una fuerza externa actúa sobre un material causa un esfuerzo o tensión en el interior del material que provoca la deformación del mismo. En muchos materiales, la deformación es directamente proporcional al esfuerzo. Esta relación se conoce como ley de Hooke, así llamada en honor del físico británico Robert Hooke, que fue el primero en expresarla.  
Sanger A. (2005)

No obstante, si la fuerza externa supera un determinado valor, el material puede quedar deformado permanentemente, y la ley de Hooke ya no es válida. El máximo esfuerzo que un material puede soportar antes de quedar permanentemente deformado se denomina límite de elasticidad. Sanger A. (2005)

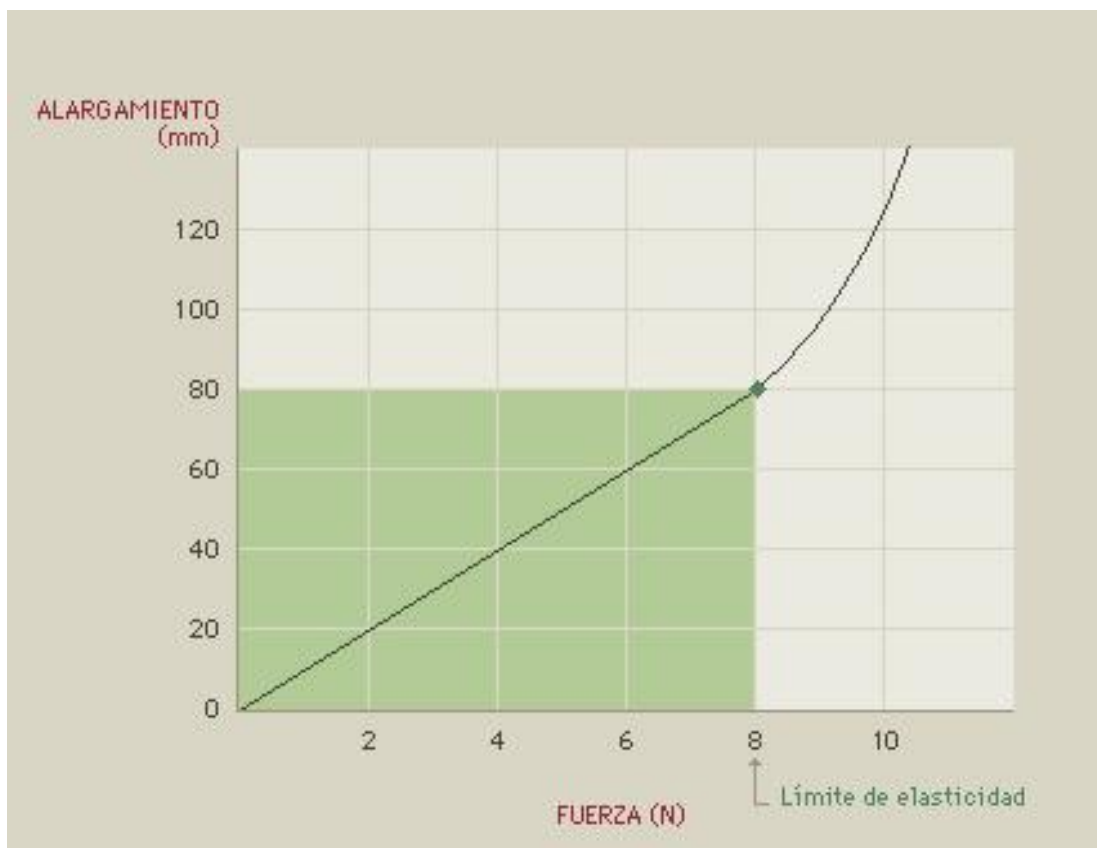
La relación entre el esfuerzo y la deformación, denominada módulo de elasticidad, así como el límite de elasticidad, están determinados por la estructura molecular del material. La distancia entre las moléculas de un material no sometido a esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión. Cuando

se aplica una fuerza externa que crea una tensión en el interior del material, las distancias moleculares cambian y el material se deforma. Si las moléculas están firmemente unidas entre sí, la deformación no será muy grande incluso con un esfuerzo elevado. En cambio, si las moléculas están poco unidas, una tensión relativamente pequeña causará una deformación grande. Por debajo del límite de elasticidad, cuando se deja de aplicar la fuerza, las moléculas vuelven a su posición de equilibrio y el material elástico recupera su forma original. Sanger A. (2005)

Más allá del límite de elasticidad, la fuerza aplicada separa tanto las moléculas que no pueden volver a su posición de partida, y el material queda permanentemente deformado o se rompe. Como ya se dijo anteriormente, la deformación que experimenta un cuerpo es directamente proporcional al esfuerzo producido. Sanger A. (2005)

#### Figura 4. Ley de Hooke

En este gráfico se muestra una síntesis de lo que trata dicha ley:



Fuente: Sanger A. "LAS FUERZAS Y SU MEDICIÓN": LEY DE HOOKE 2005.

Esta gráfica muestra el aumento de longitud (alargamiento) de un material elástico a medida que aumenta la fuerza ejercida sobre el mismo. En la parte lineal de la gráfica, la longitud aumenta 10 mm por cada newton (N) adicional de fuerza aplicada. El cambio de longitud (deformación) es proporcional a la fuerza (tensión), una relación conocida como ley de Hooke.

#### IV. MATERIALES Y MÉTODOS

##### A. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

###### 1. Localización

La investigación se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la escuela de ingeniería mecánica y en el laboratorio del departamento de ciencias biológicas de la facultad de recursos naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que se encuentra en la ciudad de Riobamba, en el Km. 1 ½ Panamericana Sur.

**Cuadro 1. Localización de las especies recolectadas <sup>1</sup>**

Especie	Lugar de recolección	Parroquia	Cantón	Provincia	Propietario
Platuquero	Sector el Tambo (Palictahua)	Puela	Penipe	Chimborazo	Señor Hernán Merino
Yagual	Sector de Toldo (Quimiag)	Quimiag	Riobamba	Chimborazo	Ingeniera Marlene Ugsiña
Nogal	Vivero Forestal del Consorcio Río Blanco (Quimiag)	Quimiag	Riobamba	Chimborazo	(MAGAP-ASA)

**Cuadro2. Ubicación geográfica<sup>2</sup>**

Lugar	Especie	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Coordenadas
Sector el Tambo	Platuquero	2780	1°31'10" Sur	78°29'40" Oeste	17-0696204E 9815938N
Sector Toldo	Yagual	3100	1°39'82" Sur	78°33'10" Oeste	17-0772402E 9815938N
Vivero Forestal del Consorcio Río Blanco	Nogal	2758	1°39'52" Sur	78°34'06" Oeste	17-0770623E 9816486N

**Cuadro 3. Características climáticas y edafológicas de los sitios de recolección. <sup>3</sup>**

---

<sup>2</sup> Datos registrados en el campo, durante la recolección de muestras.

Lugar	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Humedad relativa (%)	Suelos	Clasificación ecológica
Palictahua	15	500	68-75	Limosos, negros y ácidos	Bosque húmedo montano (bhM)
Quimiag	14.6	500	68-75	Derivados de material volcánico	Bosque húmedo montano bajo (bhMB)

## B. MATERIALES Y EQUIPOS

Madera de tres especies forestales andinas (platuquero, yagual, nogal), moto sierra, clinómetro, forsicula, GPS, segueta, canteadora, sierra circular, cepilladora, inglateadora, torno con juego de gubias y formones, estufa, balanza, calibrador, estereoscopio manual, libreta de apuntes, cámara fotográfica, máquina universal, marca TINIUS OLSEN con capacidad de carga de 100000 kg, dividida en escalas de: 2000, 10000, 50000y 100000kg respectivamente, deformimetro con apreciaciones de 0.01mm, esfera de acero de 10mm, estereoscopio manual con capacidad de 20 ampliaciones.

## C. METODOLOGÍA

### **1. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas en estado verde, seco al aire y seco al horno.**

#### **a. Selección de árboles**

Los árboles seleccionados fueron de acuerdo a la rectitud del fuste y diámetro mayor a 18cm en el caso del yagual y mayor a 20cm en el caso del nogal y platuquero (Cuadro 4).

---

<sup>3</sup> Ing. Cañadas L (1983). Mapa Bioclimatico y Ecológico del Ecuador.

**Cuadro 4. Número de muestras recolectadas.**

<b>Especie</b>	<b>DAP del árbol (cm)</b>	<b>Altura del árbol (m)</b>	<b>Edad del árbol (años)</b>	<b>Longitud Trozas (m)</b>	<b>Muestras N°</b>	<b>Fecha de recolección</b>
Platuquero	26	18	45	1	1	23-06-2012
Yagual	19 -18	8-9	20	1	2	24-06-2012
Nogal	23	15	25	1	1	24-06-2012

**b. Actividades para la obtención de las trozas**

- Apeo de árboles, este trabajo se realizó con motosierra y consistió en tumbar los árboles seleccionados de cada una de las especies en estudio platuquero, yagual y nogal.

- Desrame, este trabajo se efectuó con segueta y motosierra eliminando todas las ramas desde la base hasta la parte apical del árbol, de tal modo que el fuste queda limpio para su trozado y transporte.

**c. Preparación de las trozas**

El trozado de los árboles se lo hizo con motosierra, las trozas se obtuvieron a partir de la base del árbol hasta 1.50m antes del ápice, con una dimensión de 1m de longitud de la troza y con un diámetro mayor de 18cm y 20cm respectivamente.

Posteriormente se codificó cada una de las trozas siguiendo la polaridad de la misma en el caso de platuquero el código (P1, P2, P3) en el caso del yagual (Y1, Y2, Y3) y el Nogal (N1, N2, N3). Una vez obtenidas las trozas se transportaron al aserradero para su respectivo secado y elaboración de probetas.

#### d. Preparación de las probetas

Las trozas fueron aserradas en forma longitudinal de las cuales se obtuvieron listones de diferentes medidas estipulado por las normas de la sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM 1999), que establece un método para la preparación de muestras de madera aserrada, el método consiste en realizar cortes sistemáticos al tronco para obtener piezas de distintas medidas las cuales se detallan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 5. Dimensiones de listones para la elaboración de probetas, para ensayos físicos y mecánicos.**

ESPECIES	CODIGO	LISTONES (m)
PLATUQUERO <i>Styloceras sp.</i>	P	0.06 x 0.06 x 1 0.04 x 0.04 x 1 0.03 x 0.03 x 1 0.02 x 0.02 x 1
YAGUAL <i>Polylepis racemosa</i>	Y	0.06 x 0.06 x 1 0.04 x 0.04 x 1 0.03 x 0.03 x 1 0.02 x 0.02 x 1
NOGAL <i>Juglans neotropica</i>	N	0.06 x 0.06 x 1 0.04 x 0.04 x 1 0.03 x 0.03 x 1 0.02 x 0.02 x 1

Los listones que se obtuvieron de cada especie fueron de acuerdo al número de probetas requeridas en los diferentes ensayos físicos y mecánicos, de los cuales una parte se utilizó para los ensayos en verde, y la otra parte se apiló bajo sombra pero con corriente de aire circulantes por un período de 155 días, para posteriormente elaborar las respectivas probetas para los ensayos en seco al aire y seco al horno, las dimensiones de las probetas se elaboraron en base al diseño de la maquina universal en el laboratorio de resistencia de materiales de la escuela de mecánica y de acuerdo a las normas de los ensayos físico-mecánicos. Las dimensiones de las probetas correspondientes a cada ensayo se muestran en el cuadro 6.

**Cuadro 6. Dimensiones de las probetas y normas utilizadas para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas.**

ENSAYO	PROBETA (código)	DIMENSIONES (cm )	NORMAS
Contenido de humedad	P1	3x3x10	DIN 52182
Densidad	P2	3x3x10	DIN 52182
Flexión	P3	2.5x2.5x20.5	ASTM D 143/45-252
Dureza	P4	5x5x5	ASTM D 143/83-87
Cizallamiento	P5	1.90x24	MAQUINA UNIVERSAL AMSLER
Compresión paralela	P6	5x5x20	ASTM D43
Compresión perpendicular	P7	5x5x20	ASTM D143/77-82
Tracción	P8	2.5x2.5x45	ASTM D 143
Trabajabilidad	P9	-	-

#### **e. Determinación de las propiedades físicas.**

Se determinó las siguientes propiedades: densidad y contenido de humedad, los ensayos fueron realizados en condición verde, seca al aire y seco al horno de acuerdo a la norma (COPANT 461), los ensayos se realizaron en el laboratorio del departamento de ciencias biológicas de la escuela de ingeniería forestal.

##### **1) Contenido de Humedad (CH)**

Mediante la utilización de la norma DIN-52182 (Deutsche Industrie Norm) se elaboraron probetas de 3x3x10 cm, se obtuvieron de cada especie: cinco probetas para calcular el contenido de humedad inicial, cinco probetas para calcular el contenido de humedad en diferentes fechas expuestas al aire libre y cinco probetas para calcular el contenido de humedad seco al horno en la estufa. Adicional a las 15 probetas se elaboraron dos más 16 y 17 de las cuales se cortaron 2cm de sus extremos obteniendo cuatro probetas de 3x3x2 cm, para la determinación del peso y dimensiones, cabe indicar que estas probetas se utilizaron además para determinar la densidad.



Las probetas generadas se midieron inicialmente en condición verde con un contenido de humedad mayor al 30% , utilizando un calibrador, posteriormente bajo las mismas condiciones de humedad se pesaron , con una balanza digital con precisión de 0.01g y finalmente se deshidrataron en la estufa con temperatura inicial de 20°C la cual se fue elevando cada 2 horas a 40, 60,80, 90 hasta 103°C por 24 horas y nuevamente se midieron y se pesaron para obtener los resultados que se encuentran en el anexo 3.

El contenido de humedad inicial se determinó de acuerdo a los datos registrados al pesar las probetas en estado verde y seco al horno y con la utilización de la siguiente formula:

$$CH = \left( \frac{Pv - Ps}{Ps} \right) \times 100 \quad (1.2)$$

Donde:

CH: Contenido de humedad, %.

Pv: Peso en verde al momento de la prueba (gr).

Ps: Peso seco después de la prueba (gr).

Ejemplo: Calculo del contenido de humedad inicial del platuquero.

Datos:

$$Pv = 17.12\text{gr}$$

$$Pshp = 9.96\text{gr}$$

$$CH = \frac{(17.12\text{ gr} - 9.96\text{gr})}{9.96\text{ gr}} \times 100$$

$$CH = 71.89\%$$

Con los resultados obtenidos al aplicar la fórmula (1.2) se determinó el peso seco al horno calculado (Pshc), empleando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Pshc} = \frac{\mathbf{Pvx}}{\mathbf{CHx} + 100} \times 100 \quad \mathbf{(1.3)}$$

Donde:

Pshc: Peso seco al horno calculado (valor constante para cada especie)

Pvx: Peso verde promedio (probetas 3x3x10 cm)

CHx: Contenido de humedad promedio (probeta 3x3x2 cm)

Datos:

$$\mathbf{Pvx} = 96.33 \text{ gr}$$

$$\mathbf{CH} = 71.89\%$$

$$\mathbf{Pshc} = \frac{96.33\text{gr}}{71.89 + 100} \times 100$$

$$\mathbf{Pshc} = 56.04\text{gr}$$

Con los valores obtenidos al aplicar la ecuación 1.2 y 1.3 más los resultados que se obtienen al pesar las probetas en diferentes fechas (anexo 4), se calcularon el contenido de humedad en cierto intervalo de tiempo, hasta que las probetas alcancen un contenido de humedad aproximado al 12%, y se aplicó la ecuación (1.4)

Cálculo del contenido de humedad en diferentes fechas

$$\mathbf{CHW} = \left( \frac{\mathbf{PW}}{\mathbf{Pshcx}} - 1 \right) \times 100 \quad \mathbf{(1.4)}$$

Donde:

CHw: Contenido de humedad al momento de la prueba, %

Pw: Peso de las probetas al momento de la prueba, gr.

Pshcx: Peso seco al horno calculado promedio (constante), gr.

Ejemplo: Cálculo del contenido de humedad en diferentes fechas del platuquero.

Datos:

$$PW = 94.02 \text{ gr}$$

$$Pshcx = 56.04 \text{ gr}$$

$$CH_w = \left( \frac{94.02 \text{ gr}}{56.04 \text{ gr}} - 1 \right) \times 100 \quad (1.4)$$

$$CH_w = 67.77\%$$

$CH_{wcd}$ : Contenido de humedad para el platuquero en estado verde.

Para el cálculo de contenido de humedad seco al aire y seco al horno de las probetas en estudio, aplicamos la ecuación 1.4

Ejemplo: Contenido de humedad seco al aire, especie platuquero.

$$Ch_w = \left( \frac{PW}{Pshcx} - 1 \right) \times 100$$

$$Ch_w = \left( \frac{63.14 \text{ gr}}{56.04 \text{ gr}} - 1 \right) \times 100$$

$$C_{hw} = 12.67\%$$

Ejemplo: Contenido de humedad seco al horno

$$Ch_w = \left( \frac{PW}{Pshcx} - 1 \right) \times 100$$

$$C_{hw} = \left( \frac{62.22 \text{ gr}}{56.04 \text{ gr}} - 1 \right) \times 100$$

$$C_{hw} = 11.03\%$$

## 2) Densidad

La densidad se determinó mediante la norma DIN 52182, bajo los siguientes parámetros:

- Densidad en verde
- Densidad seca al aire
- Densidad seca al horno
- Densidad básica

Para determinar los cuatro tipos de densidades se utilizaron las mismas probetas del ensayo de contenido de humedad, la masa se obtuvo utilizando una balanza digital de 0.01 gr de precisión y el volumen se obtuvo midiendo las probetas con un calibrador y finalmente mediante la fórmula Smalian se determinó el volumen de las probetas.

Anexo 1 y 7

Utilizando los datos de dimensiones lineales por posición de trabajo, tanto en estado verde como en estado seco al aire y seco al horno, anexo 1 se determinó el volumen de las probetas aplicando la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(S_1 + S_2)}{2} \times H \quad (1.5)$$

Donde:

V: Volumen de las probetas (cm<sup>3</sup>)

S<sub>1</sub>: Superficie del extremo 1 de las probetas (cm<sup>2</sup>)

S<sub>2</sub>: Superficie del extremo 2 de las probetas (cm<sup>2</sup>)

H: Longitud de las probetas (cm)

Ejemplo: Especie platuquero

Datos:

$$S1 = 9.39\text{cm}^2$$

$$S2 = 9.46\text{ cm}^2$$

$$H = 10.11\text{cm}$$

$$V_v = \frac{(9.39 + 9.46)\text{ cm}^2}{2} \times 10.11\text{cm}$$

$$V_v = 95.29\text{cm}^3$$

$V_v$ : Volumen en verde de la probeta de platuquero.

Empleando los datos de pesos y volúmenes obtenidos en estado verde, seco al aire y seco al horno, se determinó la densidad de las especies, bajo las condiciones anotadas anteriormente. Anexos 2, 4, 8 y 9

Cálculo de densidad y pesos específicos.

Datos:

$$P_{vx} = 94.02\text{gr}$$

$$V_{vx} = 95.29\text{cm}^3$$

$$P_{sax} = 63.14\text{gr}$$

$$V_{sax} = 86.27\text{cm}^3$$

$$P_{shx} = 62.22\text{gr}$$

$$V_{shx} = 85.73\text{cm}^3$$

**Densidad en verde ( $D_v$ )**

$$D_{vx} = \frac{P_{vx}}{V_{vx}} \quad (1.6)$$

Donde:

Dv: Densidad verde. (gr/cm<sup>3</sup>)

$\bar{Pv}$ : Masa verde promedio, (gr)

$\bar{Vv}$ : Volumen verde promedio, (cm<sup>3</sup>)

Ejemplo: densidad en verde, especie platuquero.

$$Dvx = \frac{94.02\text{gr}}{95.29\text{cm}^3}$$

$$Dvx = 0.98\text{gr/cm}^3$$

### Densidad seca al aire (DSa)

$$Dsa = \frac{\bar{Psa}}{\bar{Vsa}} \quad (1.7)$$

Donde:

Dsa: Densidad seca al aire, (gr/cm<sup>3</sup>)

$\bar{Psa}$ : Masa seca al aire promedio, (gr)

$\bar{Vsa}$ : Volumen seco al aire promedio, (cm<sup>3</sup>)

Ejemplo: densidad seca al aire, especie platuquero

$$DSax = \frac{63.14\text{gr}}{86.27\text{cm}^3}$$

$$DSax = 0.73\text{gr/cm}^3$$

### Densidad seca al horno (DSh)

$$Dsh = \frac{\bar{Psh}}{\bar{Vsh}} \quad (1.8)$$

Donde:

$\overline{Dsh}$ : Densidad seca al horno promedio, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\overline{Psh}$ : Masa seca al horno promedio, (gr)

$\overline{Vsh}$ : Volumen seco al horno promedio, ( $\text{cm}^3$ )

Ejemplo: densidad seca al horno, especie platuquero.

$$\overline{DShx} = \frac{62.22\text{gr}}{85.73\text{cm}^3}$$

$$\overline{DShx} = 0.72 \text{ gr}/\text{cm}^3$$

**Densidad básica (Db)**

$$Db = \frac{PShx}{Vvx} \quad (1.9)$$

Ejemplo: densidad básica, especie platuquero.

$$Db = \frac{62.22\text{gr}}{95.29\text{cm}^3}$$

$$Db = 0.65\text{gr}/\text{cm}^3$$

#### **f. Pruebas mecánicas**

Para la realización de las pruebas mecánicas, se siguió la metodología recomendada por las normas COPANT 459 (Acondicionamiento de las maderas destinadas a ensayos físicos y mecánicos).

Los ensayos se determinaron en tres estados de contenido de humedad: uno con probetas de humedad superior al 30% (estado verde), el segundo con probetas de

humedad aproximadamente al 12% (estado seco al aire), y el tercero con probetas de humedad al 12% (estado seco al horno).

Los listones de madera para los ensayos con probetas secas al aire y secas al horno se acondicionaron bajo sombra, pero con corrientes de aire circulantes por un lapso de tiempo de (155 días) 5 meses aproximadamente.

El secado de las maderas al horno se efectuó en ecua- maderas, cuyo propietario es el Sr. Eduardo Baldeón, cabe recalcar que es el único aserradero de la ciudad de Riobamba, que cuenta con una cámara de secado con temperatura controlada, para el secado de la madera se utilizó dos listones de diferentes mediadas 0.06 x 0.06 x 1; 0.04 x 0.04 x 1; 0.03 x 0.03 x 1; 0.02 x 0.02 x 1 cm, para cada una de las especies, los listones se introdujeron dentro de la cámara con una temperatura inicial y constante de 120° C, en él, la madera recibe calor en forma indirecta a través de aire caliente, que es forzado a circular a través de la madera mediante ventiladores, el aire caliente absorbe la humedad de la superficie de la madera y la arrastra hasta las salidas, por donde desfoga el aire húmedo por un lapso de tiempo de 48 horas más o menos, una vez que ha perdido la humedad, circula nuevamente a través de las pilas de madera, formando una corriente de aire continua, que va secando la madera.

Para el caso de las maderas en estudio alcanzaron el 12% de contenido de humedad en un período de 20 días aproximadamente.

Posteriormente se prepararon las probetas en base a especificaciones de las normas ASTM 143 -94 que se presentan en el siguiente cuadro.



**Cuadro 7. Clasificación y dimensiones de probetas para los ensayos mecánicos**

PRUEBA	PROBETAS (cm)	ESPECIES		
		PLATUQUERO	YAGUAL	NOGAL
Flexión estática	2.5x2.5x5	P3	Y3	N3
Dureza brinell	5x5x5	P4	Y4	N4
Cizallamiento o corte	1.9x24	P5	Y5	N5
Compresión paralela al grano	5x5x20	P6	Y6	N6
Compresión perpendicular al grano	5x5x20	P7	Y7	N7
Tracción	2.5x2.5x45	P8	Y8	N8

Los ensayos: Flexión estática, compresión paralela y perpendicular al grano, dureza brinell, corte o cizallamiento fueron realizadas según lo que establece la norma ASTM (American Society for Testing and Materials), y fueron efectuados en la maquina universal, conectada a un gabinete de trabajo y control, que permite apreciar diferentes cargas de 100.000 kg., dividida en escalas de: 2.000, 10.000, 50.000 y 100.000 kg respectivamente, a demás sus diferentes accesorios nos permitió realizar los ensayos anteriormente citados.

### 1) Flexión estática

Los ensayos para los tres tipos de estado de la madera verde, seca al aire y seca al horno, fueron realizados según la norma ASTM D 143/ 45-252, que establece calcular el módulo de ruptura, momento de inercia y el momento flector máximo.

Para el ensayo se utilizaron probetas de 2.5x2.5x5 cm, y en la maquina universal, se ubicó la cama de flexión y el mandril de aplicación de carga. La probeta fue marcada en su centro con la ayuda de un metro, para luego ser colocada en la cama de flexión, la cuál esta conformada por dos extremos de rodillos con una distancia de 11.8cm, la probeta ya señalada se situó en la mitad de la luz, para que la carga sea dirigida hacia el centro, de manera uniforme y lenta hasta que se produzca una fisura.

Con los datos obtenidos en el ensayo se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$M_{\max} = \frac{P_x * L}{4} \quad (1.10)$$

$$I = \frac{(a_x) * (b_x)^3}{12} \quad (1.11)$$

$$C = \frac{b_x}{2} \quad (1.12)$$

$$\sigma \tau = \frac{M * C}{I} \quad (1.13)$$

Donde:

P<sub>x</sub>: Carga promedio máxima aplicada, kg

a<sub>x</sub>: Ancho promedio, cm

b<sub>x</sub>: Espesor promedio, cm

L: luz, cm

M<sub>max</sub>: Momento flector máximo, kg, cm.

I: Momento de inercia, cm<sup>4</sup>.

στ: Esfuerzo flector o módulo de ruptura, kg/cm<sup>2</sup>

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$P_x = 406.85 \text{ kg}$$

$$a_x = 2.52 \text{ cm}$$

$$b_x = 2.53 \text{ cm}$$

$$L = 11.80 \text{ cm}$$

$$M_{\max} = \frac{440.90 \text{ kg} * 11.80 \text{ cm}}{4}$$

$$M_{\max} = 1300.65 \text{ Kg.cm}$$

$$I = \frac{(2.52)^2 * (2.53)^2 \text{ cm}^4}{12}$$

$$I = 3.39 \text{ cm}^4$$

$$C = \frac{2.53 \text{ cm}}{2}$$

$$C = 1.27 \text{ cm}$$

$$\sigma\tau = \frac{1300.65 \text{ kg.cm} \times 1.27 \text{ cm}}{3.39 \text{ cm}^4}$$

$$\sigma\tau = 487.26 \text{ kg/cm}^2$$

La clasificación de las especies por su resistencia a la flexión se realizó en base a los valores expresados en el cuadro comparativo C, anexo 11.

## 2) Dureza

Los ensayos de dureza se determinaron según establece la norma ASTM 143/83-87, en tres tipos de estado de la madera verde, seca al aire y seca al horno, para el procedimiento se utilizó probetas de sección cuadrada de 5x5x5 cm (cubo de madera), sin fallas ni defectos. El ensayo consistió en la introducción de una esfera de acero de 10mm de diámetro, aplicando una carga constante, con un tiempo de duración de 30 segundos, que deja una huella de sección circular. Se realizó dos ensayos para la cara radial, tangencial y longitudinal, posteriormente se procedió a medir el diámetro de la marca dejada por el indentor con la utilización de un estereoscopio manual con capacidad de 20 ampliaciones.

Con los datos obtenidos en el ensayo se calculó la dureza de las tres especies en estudio en cada una de sus caras de la probeta: transversal (corte en dirección

perpendicular al eje del tronco), radial (el corte tiene dirección paralela a los radios) y tangencial (corte tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol). Anexo 10

Fórmula para el cálculo dureza Brinell

$$HB = \frac{2P}{\pi \times D \times [D^2 - (D^2 - d)^2]^{1/2}} \quad (1.14)$$

Donde:

- D: Diámetro de la esfera indentor, cm
- d: Diámetro de la huella en la probeta, cm
- P: Carga aplicada en la prueba, 1kg
- HB: Dureza Brinell, kg/cm<sup>2</sup>

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$D = 10\text{mm (1cm)}$$

$$d = 0.54\text{cm}$$

$$P = 224\text{kg}$$

$$HB = \frac{2(224\text{kg})}{\pi \times 1\text{cm} \times [1\text{cm}^2 - (1\text{cm}^2 - 0.54\text{cm})^2]^{1/2}}$$

$$HB = 265.08 \text{ kg/cm}^2$$

La clasificación de las maderas por su dureza Brinell, se realizó en base a lo expresado en los cuadros comparativos C y D, anexo 11.

### 3) Corte o cizallamiento

En este ensayo para la dimensión de las probetas se tomó como referencia las dimensiones de la cámara de corte y el punzón, utilizando probetas de 24 cm de longitud y 1.90 cm de diámetro para cada una de las especies.

Con los datos registrados en el ensayo, se calculó el esfuerzo por cizallamiento, mediante la utilización de las siguientes formulas:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.15)$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (1.16)$$

Donde:

P: Carga soportada por la probeta, kg

A: Área resistente, cm<sup>2</sup>

d : Diámetro de la probeta, cm

$\sigma$  : Esfuerzo de cizallamiento, Kg/ cm<sup>2</sup>

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$P = 1550.14 \text{ kg}$$

$$A = 3.07900 \text{ cm}^2$$

$$d = 1.98 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi \times (1.98)^2}{4}$$

$$A = 3.08 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{1550.14 \text{ kg}}{3.07900 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 503.46 \text{ kg/cm}^2$$

La respectiva clasificación de las maderas por su resistencia al cizallamiento, se realizó en base a lo enunciado en el cuadro de valores comparativo C.

#### 4) Resistencia a la compresión paralela al grano

De acuerdo a las normas ASTM D43, utilizando probetas de 5x5x20 cm en estado verde, seca al aire y seca al horno, se procedió a realizar el ensayo para lo cual se adecuo previamente la maquina universal, y mediante el empleo de un deformimetro con apreciaciones de 0.01mm se pudo registrar los datos y además observar las deformaciones que se iban produciendo por el aumento de cargas en forma gradual, llegando a un limite de elasticidad al igual que de fluencia, posteriormente se produjo la ruptura de la probeta mediante un aumento de carga.

Mediante los datos obtenidos en el ensayo se realizaron los siguientes cálculos: esfuerzo a límite proporcional, resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura. Mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.17)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1.18)$$

Donde:

P: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm<sup>2</sup>

ε: Deformación unitaria, mm/mm

σ: Esfuerzo unitario, kg/cm<sup>2</sup>

δ : Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$P = 204,8 \text{ kg}$$

$$A = 25.03 \text{ cm}^2$$

$$L = 150.02 \text{ mm}$$

$$\epsilon = \frac{0.21 \text{ mm}}{150.02 \text{ mm}}$$

$$\epsilon = 1.39 \times 10^{-3}$$

$$\delta = 21.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{204.8 \text{ kg}}{25.03 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 8.18 \text{ kg/cm}^2$$

La clasificación de las maderas por su resistencia a la compresión paralela se realizó en base al cuadro comparativo C.

### 5) Resistencia a la compresión perpendicular al grano

De acuerdo a las normas ASTM D 143/ 77-82, con probetas de 5x5x20 cm en estados verde, seca al aire, seca al horno se ejecuto el ensayo de compresión perpendicular al grano bajo el mismo procedimiento del ensayo de compresión paralela al grano pero adicionándole una lamina de acero de 5mm de espesor, la cual fue instalada sobre la probeta y con la acción de cargas suministradas se observó como la lámina penetro en la parte transversal y mediante esta acción se produjo la deformación de la probeta .

Con los datos obtenidos en el ensayo se calculó el esfuerzo al limite proporcional, la resistencia máxima a la compresión y la carga máxima de ruptura, utilizando las

formulas del ensayo de compresión paralela, se pudo graficar los valores de esfuerzo vs deformación y se realizaron los siguientes cálculos.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.17)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1.18)$$

Donde:

P: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm<sup>2</sup>

$\delta$  : Deformación unitaria, mm/mm

$\epsilon$ : Esfuerzo unitario, kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$ : Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$P = 2598.90\text{kg}$$

$$A = 24.56\text{cm}^2$$

$$L = 152.00\text{mm}$$

$$\epsilon = \frac{755 \times 10^{-2} \text{mm}}{152.00 \text{mm}}$$

$$\epsilon = 49.67 \times 10^{-3}$$

$$\delta = 755.00 \times 10^{-2} \text{mm}$$

$$\sigma = \frac{2598.90\text{kg}}{24.56\text{cm}^2}$$



$$\sigma = 105.82 \text{kg/cm}^2$$

La clasificación de las maderas por su resistencia a la compresión perpendicular se realizó en base al cuadro comparativo C, anexo 11.

## 6) Resistencia a la tracción

Bajo las normas ASTM D 143, se realizó el ensayo de tracción con probetas en estado verde seca al aire y seca al horno con dimensiones de 2.5x2.5x45 cm formadas por una parte central calibrada, en ambos extremos existen escotaduras, donde se fijan las mordazas de tracción de la máquina universal. Las probetas fueron marcadas en su parte central calibrada a una longitud de espaciamiento de 20cm, que delimita el tramo o longitud útil donde además se situó el deformímetro.

Una vez situada la probeta en las mordazas de sujeción del tensómetro, se procedió a descargar el fluido del mismo, antes de iniciar el ensayo se aplicó una cierta carga para que la probeta se acople a los dispositivos de retención de la máquina. Esta carga inicial fue de 50 kg. A continuación de esto se inició la aplicación de cargas graduales y a la vez se apreció la deformación de la probeta y se registró los datos que marcaba el deformímetro ubicado en el intervalo de la longitud útil, se siguió aumentando la carga hasta llegar a un valor límite de elasticidad. Cuando la carga externa supera el límite de elasticidad, la deformación pasa a ser permanente, iniciándose la fluencia del material, cuando la probeta inició su fluencia, bastó un mínimo aumento de carga para provocar su ruptura.

Con los datos obtenidos en el ensayo se calculó la resistencia a la ruptura, la carga máxima, y se efectuaron los gráficos específicos de esfuerzo vs deformación. Los cálculos se desarrollaron en forma similar al efectuado para compresión paralela y perpendicular, a continuación se desprende los siguientes cálculos:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1.17)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1.18)$$

Donde:

P: Carga aplicada, kg

A: Área resistente, cm<sup>2</sup>

$\delta$  : Deformación unitaria, mm/mm

$\epsilon$ : Esfuerzo unitario, kg/cm<sup>2</sup>

$\sigma$ : Deformación, mm

L: Longitud de la probeta, mm

Ejemplo: especie platuquero.

Datos:

$$P = 516.50\text{kg}$$

$$A = 2.52\text{cm}^2$$

$$L = 199.00\text{mm}$$

$$\epsilon = \frac{48.00 \times 10^{-2} \text{mm}}{199.00 \text{mm}}$$

$$\epsilon = 2.40 \times 10^{-3}$$

$$\delta = 48.00 \times 10^{-2} \text{mm}$$

$$\sigma = \frac{516.60 \text{kg}}{2.43 \text{cm}^2}$$

$$\sigma = 204.96 \text{kg/cm}^2$$

## **2. Clasificación de las especies de acuerdo a su dureza.**

La clasificación de las maderas por su dureza, se efectuó de acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos físicos (densidad básica) y mecánicos (dureza Brinell) y en

base al cuadro preparado por Markwardt y Heck (2001) quienes a demás indican que la dureza de la madera esta en relación directa con la densidad.

**Cuadro 8. Clasificación de las maderas por su dureza.**

CLASIFICACION DE LAS MADERAS DE ACUERDO A SU DUREZA					
NOMBRE COMÚN	DENSIDAD BASICA	GRANO	CLASIFICACIÓN SEGÚN		
			DENSIDAD BASICA	DUREZA	TRABAJABILIDAD
-----	0.33	recto	liviana	suave	fácil
	0.24	oblicuo	muy liviana	muy suave	moderada
	0.61	entrecruzado	mediana	media	moderada
	0.83	recto-entrecruzado	pesada	dura	difícil
	1.02	oblicuo entrecruzado	muy pesada	muy dura	difícil

### **3. Identificación del uso más apropiado que se debe dar a las tres especies andinas, yagual, platuquero y nogal.**

Para determinar los usos más probables que se les puede dar a las maderas en estudio, se hizo una evaluación de acuerdo a las propiedades físico-mecánicas que presentaron (peso específico, dureza, flexión compresión tracción etc.). Además se identificó a las especies por sus características estéticas, anatómicas (color, veteado, grano, porosidad), trabajabilidad y comportamiento al secado.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

#### 1. Propiedades físicas de las maderas en estado verde, seco al aire y seco al horno.

##### a. Contenido de humedad.

Como se puede observar en el cuadro 9 el mayor contenido de humedad en estado verde o contenido de humedad inicial presentó la especie del platuquero con un 67.77 % seguida del yagual y del nogal con un 64.98% y 53.12% respectivamente.

En cuanto a los ensayos seco al aire y seco al horno como se puede observar en el gráfico 1y 2 el yagual es la especie que más rápido pierde su humedad (16 días sa) (9 días sh), mientras que la especie del nogal a pesar de tener un menor contenido de humedad inicial requirió un mayor numero de días para llegar al contenido de humedad aproximado al 12%, 21 días seco al aire y 11 días seco al horno. Esto puede atribuirse a que el yagual es una madera más porosa, lo cuál es corroborado por Jaramillo F., Ontaneda G. 1989 quienes dan a conocer que la pérdida de humedad en la madera esta relacionada con su porosidad.

**Cuadro N° 9. Contenido de humedad en estado verde, seco al aire y seco al horno.**

CH (Estados)	Fecha 2012	Especies código		
		P	Y	N
CHv	jul-09	67.77	64.98	53.12
CHsa	jul-26	12.67		
CHsh	jul-19	11.03		
CHsa	jul-25		12.49	
CHsh	jul-18		11.11	
CHsa	jul-30			12.75
CHsh	jul-20			11.24

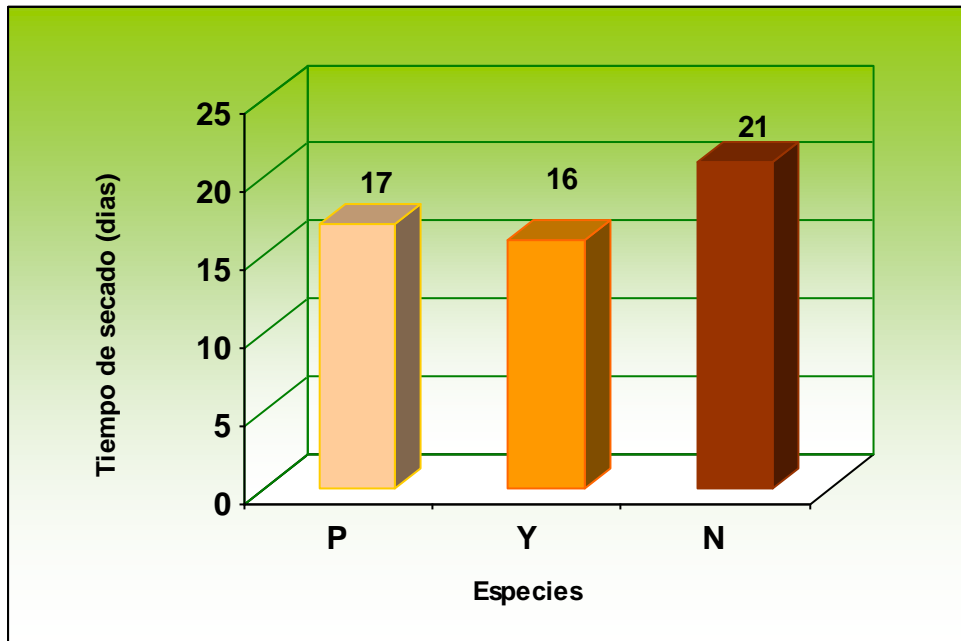
CH: Contenido de humedad

CHv: Contenido de humedad en estado verde.

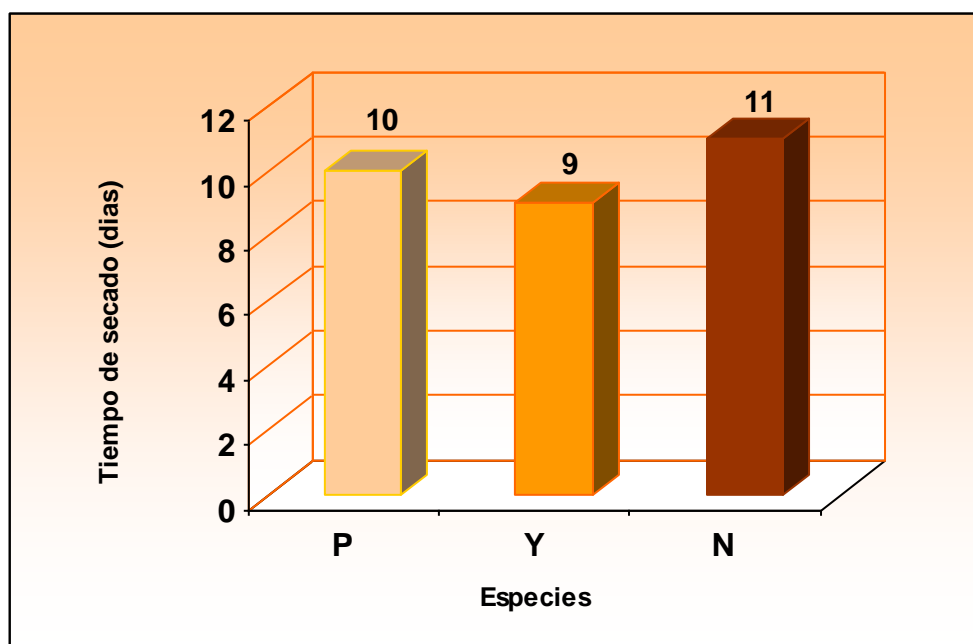
Chsa: Contenido de humedad en estado seco al aire

CHsh: Contenido de humedad en estado seco al horno

(1): Prueba: Contenido de humedad y velocidad de secado.



**Gráfico N° 1 Prueba de contenido de humedad, seca al aire**



**Gráfico N° 2 Prueba de contenido de humedad, seca al horno**

## b. Densidad

Como se puede apreciar en el cuadro 11, gráfico 3 la madera del platuquero y del yagual en estado verde presentaron una densidad de  $0.98 \text{ gr/cm}^3$  y  $0.99 \text{ gr/cm}^3$  clasificándose como mediana de acuerdo al cuadro comparativo C propuesto por Sotomayor 1987, Hinojosa H y Zavala P 1992, y el nogal con una densidad en verde de  $0.81 \text{ gr/cm}^3$  se clasifica como moderadamente baja.

Las maderas secas al aire y secas al horno, de acuerdo al cuadro comparativo C, presentaron los siguientes resultados: Moderadamente baja la especie de nogal y platuquero, y clasificándose como mediana la especie del yagual. Cuadro 11, gráfico 4 y 5.

Del análisis de los valores promedios, como se muestra en el gráfico 6 la densidad básica del platuquero, yagual y nogal es de  $0.60$ ;  $0.67$  y  $0.61 \text{ gr/cm}^3$  respectivamente, clasificándose de acuerdo al cuadro comparativo B como maderas livianas.

### Cuadro N° 10. Prueba de densidades

Condición	Especies Código		
	P (1-2)	Y (1-2)	N (1-2)
Pvx (gr)	94.02	92.53	70.97
Psax(gr)	63.14	62.42	52.26
PShx(gr)	62.22	61.68	51.56
Vvx ( $\text{cm}^3$ )	95.29	91.55	87.08
Vsax ( $\text{cm}^3$ )	86.27	73.17	80.25
Vshx ( $\text{cm}^3$ )	85.73	72.89	79.93

- Pvx: Peso verde promedio  
 PSax: Peso seco al aire promedio  
 PShx: Peso seco al horno promedio  
 Vvx: Volumen en verde promedio  
 VSax: Volumen seco al aire promedio  
 VShx: Volumen seco al horno promedio  
 (1-2): Prueba contenido de humedad y densidad

Cuadro N° 11. Resultados obtenidos prueba de densidad

Condición	Especies Código		
	P (1-2)	Y (1-2)	N (1-2)
Dvx (gr/cm <sup>3</sup> )	0.98 Med	0.99 Med	0.81 Mod. B.
Dsax (gr/cm <sup>3</sup> )	0.73 Mod.B.	0.85 Med	0.65 Mod. B
Dshx (gr/cm <sup>3</sup> )	0.72 Mod. B.	0.84 Med	0.64 Mod .B

Dvx: Densidad verde promedio

DSax: Densidad seca al aire promedio

DShx: Densidad seca al horno promedio

(1-2): Prueba contenido de humedad y densidad

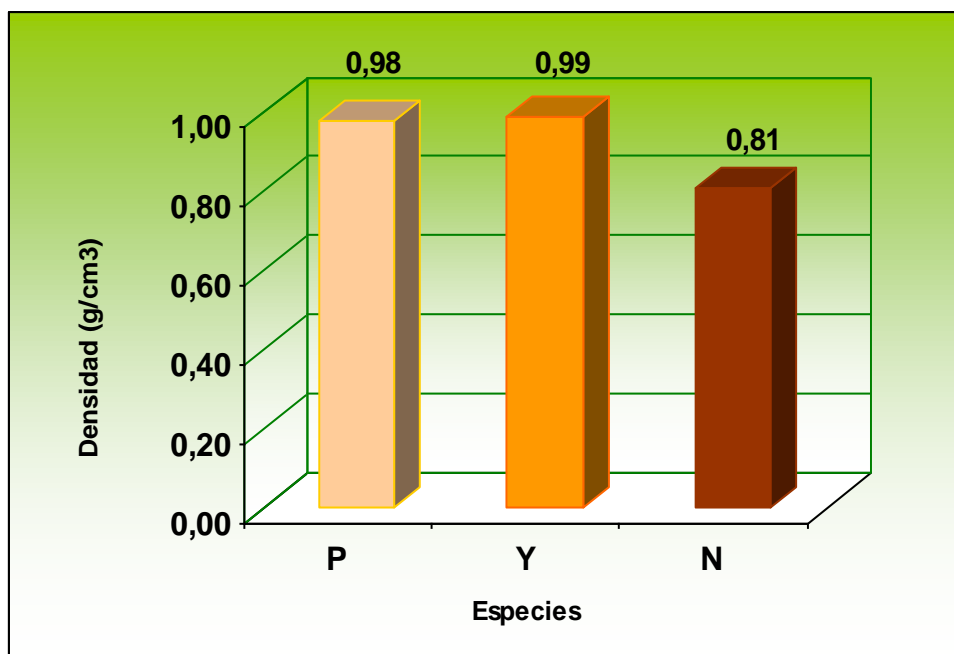


Gráfico N° 3. Prueba de densidad en verde.

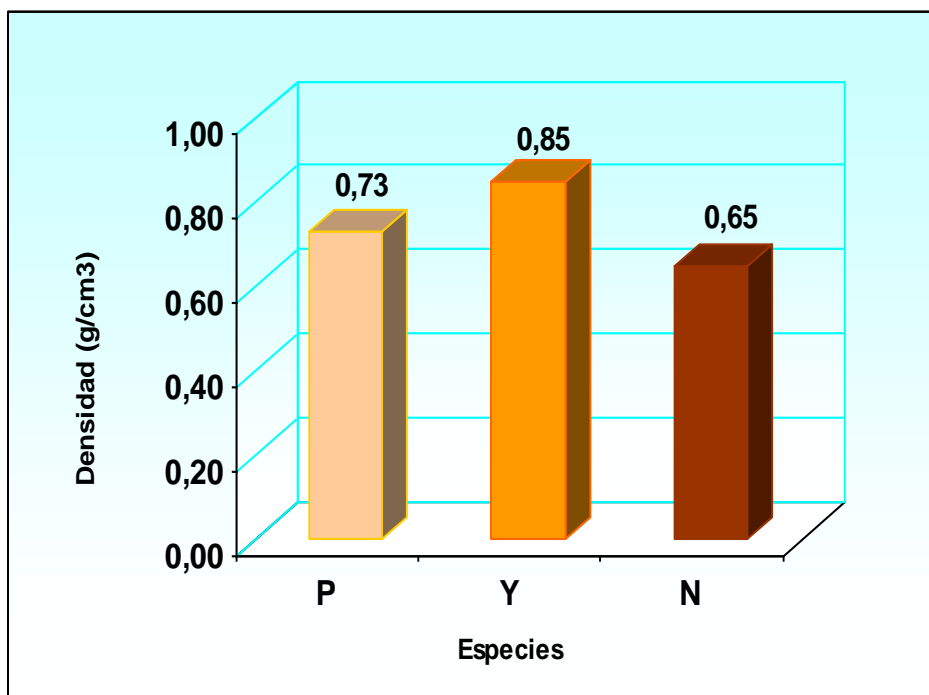


Gráfico N° 4. Prueba de densidad seca al aire

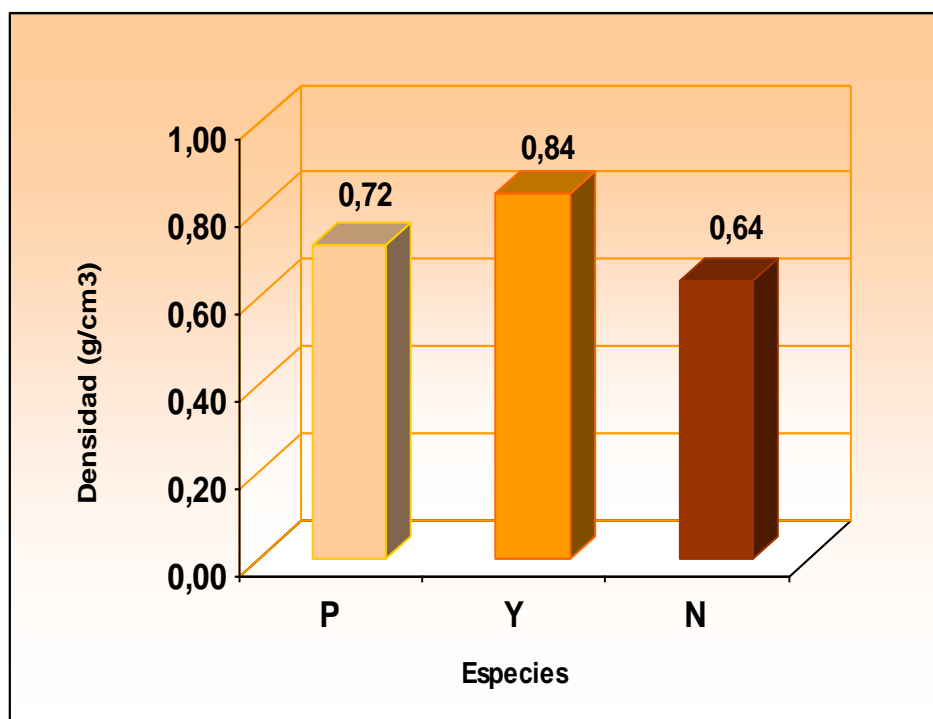


Gráfico N° 5. Prueba de densidad seca al horno



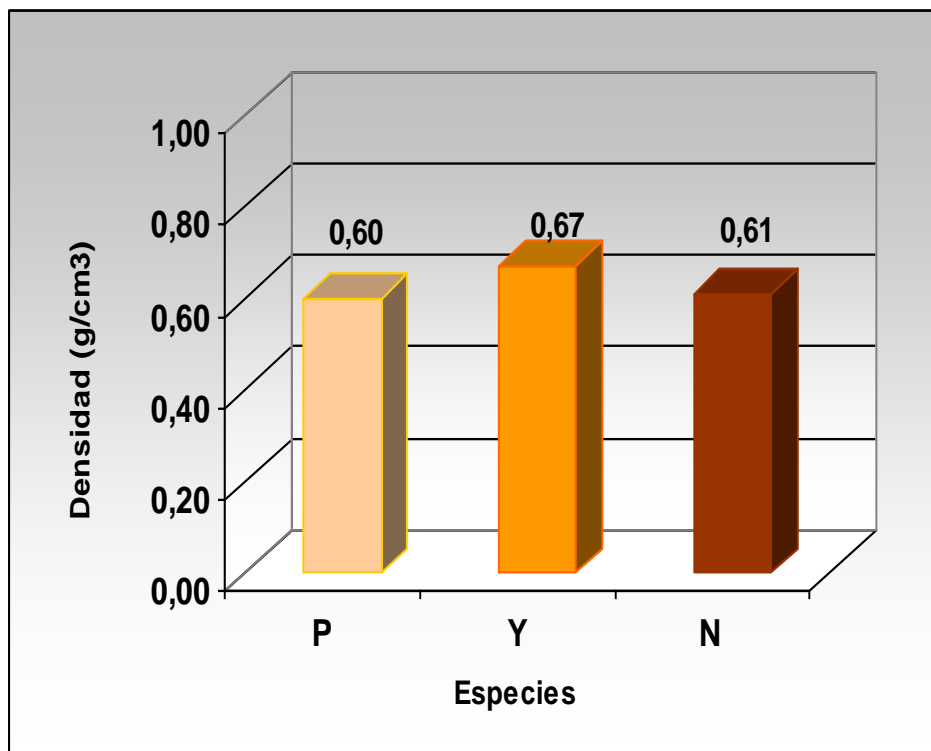


Gráfico N° 6. Prueba de densidad básica

## **2. Propiedades mecánicas de las maderas en tres estados verde, seca al aire y seca al horno.**

### **a. Ensayo de Flexión estática**

Mediante el ensayo de flexión estática y el análisis de los valores promedios cuadro 12 y 13, gráfico 7 se deduce que las especies del platuquero, yagual y nogal mostraron su mayor resistencia en estado seco al horno con  $749.02 \text{ kg f/ cm}^2$ ,  $470.09 \text{ kf/ cm}^2$  y  $706.05 \text{ kg f/ cm}^2$  respectivamente, superando los resultados obtenidos en estado verde y seco al aire. Con respecto a su clasificación, según el cuadro comparativo C, las especies del platuquero y del nogal presentan una resistencia muy baja en estado verde y baja en estado seca al aire y seca al horno y clasificándose como muy baja el yagual en los tres estados.

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión en los tres estados de la madera indican que las maderas estudiadas no pueden ser utilizadas en trabajos donde las cargas aplicadas produzcan esfuerzos que sobrepasen el límite de proporcionalidad.

**Cuadro N° 12. Valores promedios del ensayo de resistencia a la flexión.**

Especies (Código)	Estados (V/Sa/Sh)	DATOS				
		P (kg)	a (cm)	b (cm)	I (cm)	Mmax (kg.cm)
P	V	440.90	2.52	2.53	3.39	1300,65
	Sa	644.67	2.48	2.48	3.15	1901.78
	Sh	650.15	2.48	2.50	3.20	1917.50
Y	V	288.95	2.51	2.51	3.31	852.40
	Sa	411.00	2.49	2.50	3.23	1212.45
	Sh	415.79	2.50	2.50	3.26	1226.58
N	V	340.98	2.48	2.49	3.17	1005.89
	Sa	596.98	2.47	2.46	3.08	1761.09
	Sh	598.35	2.47	2.47	3.10	1765.13

**Cuadro N° 13. Resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión estática.**

Condición	ESPECIES		
	P (3)	Y (3)	N (3)
$\delta$			
Kg f/ cm <sup>2</sup>	487.26	283.63	396.64
Clasificación	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Psa	748.63	469.21	703.29
Clasificación	Bajo	Muy Bajo	Bajo
Psh	749.02	470.09	706.05
Clasificación	Bajo	Muy Bajo	Bajo

$\delta$  = Esfuerzo flector o módulo de ruptura

(3)= Ensayo de resistencia a la flexión

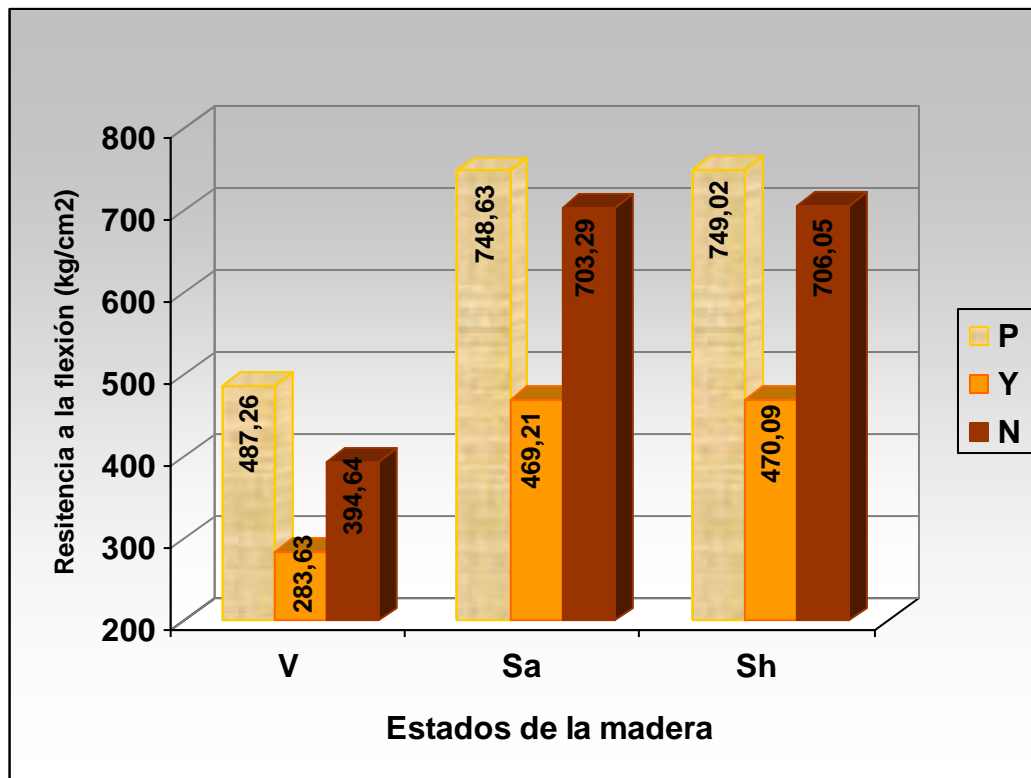


Gráfico N° 7. Prueba de resistencia a la flexión, con probetas en estado v/sa/sh

#### b. Ensayo de dureza Brinell

Como se puede apreciar en el cuadro 15 y gráfico 11, que la especie del platuquero, yagual y nogal muestran una mayor resistencia en estado seco al horno 348.32, 394.13 y 388.27 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, en comparación con los datos registrados en estado verde 254.35, 258.93 y 225.55 Kg/cm<sup>2</sup> y seco al aire 331.47, 393.84 y 382.32 Kg/cm<sup>2</sup>.

Como indica el cuadro 14, gráfico 8, 9 y 10 en lo referente a los planos la mayor resistencia en dureza para el platuquero fue observada en el plano radial seco al horno 357.77 Kg/cm<sup>2</sup>, el yagual plano tangencial seco al horno 412.56 Kg/cm<sup>2</sup>, y el nogal plano radial seco al aire 397.71 Kg/cm<sup>2</sup>.

Del análisis conjunto de los valores indicados en el cuadro 16 y mediante el cuadro comparativo C las especies en estudio corresponden a una clasificación blandas en estado verde y semi dura en estado seco al aire y seco al horno.

**Cuadro N° 14. Resultados obtenidos, prueba de resistencia a la dureza.**

CARAS (R-T-L)	ESTADOS (V/Sa/Sh)	ESPECIES/ CÓDIGO		
		P	Y	N
HB.C.R Kg/cm <sup>2</sup>	V	265.08	261.61	231.46
	Sa	345.81	391.70	397.71
	Sh	357.77	382.27	394.77
HB.C.T Kg/cm <sup>2</sup>	V	248.83	280.85	226.28
	Sa	321.15	392.03	380.72
	Sh	334.78	412.56	389.15
HB.C.L Kg/cm <sup>2</sup>	V	249.14	234.34	218.93
	Sa	327.45	397.81	368.53
	Sh	352.43	387.56	380.89

**Cuadro N° 15. Resultados promedios, prueba de resistencia a la dureza**

Caras kg/ cm <sup>2</sup>	Estados (V/Sa/Sh)	P	Y	N
HB.R.T.L	V	254.35	258.93	225.55
HB.R.T.L	Sa	331.47	393.84	382.32
HB.R.T.L	Sh	348.32	394.13	388.27

HB.C.R: Dureza de la madera en la cara radial

HB.C.T: Dureza de la madera en la cara tangencial

HB.C.L: Dureza de la madera en la cara longitudinal

HB. CR. CT. CL: Dureza de la madera cara radial, tangencial y longitudinal.

**Cuadro N° 16. Valores promedios, prueba de resistencia a la dureza.**

Especie (Código)	Estados (v/sa/sh)	Caras (R-T-L)	Datos			Clasificación
			P (kg)	d (cm)	HB (Kg/cm <sup>2</sup> )	
P	V	HB.C.R	224	0,54	265.08	Blandas
		HB.C.T	214	0,55	248.83	Blandas
		HB.C.L	218	0,56	249.14	Blandas
	Sa	HB.C.R	351	0,65	345,81	Semi dura
		HB.C.T	354	0,66	321,15	Semi dura
		HB.C.L	334	0,42	327,45	Semi dura
	Sh	HB.C.R	322	0,58	357,77	Semi dura
		HB.C.T	308	0,56	334,78	Semi dura
		HB.C.L	326	0,57	352,43	Semi dura
Y	V	HB.C.R	259	0,63	261.61	Blandas
		HB.C.T	264	0,60	280.85	Blandas
		HB.C.L	232	0,63	234.34	Blandas
	Sa	HB.C.R	378	0,62	391,70	Semi dura
		HB.C.T	386	0,64	392.03	Semi dura
		HB.C.L	364	0,59	397,81	Semi dura
	Sh	HB.C.R	388	0,65	382,27	Semi dura
		HB.C.T	394	0,61	412,56	Semi dura
		HB.C.L	374	0,62	387.56	Semi dura
N	V	HB.C.R	206	0,57	231.46	Blandas
		HB.C.T	198	0,56	226.28	Blandas
		HB.C.L	185	0,54	218.93	Blandas
	Sa	HB.C.R	348	0,56	397,71	Semi dura
		HB.C.T	316	0,53	380,72	Semi dura
		HB.C.L	328	0,57	368,53	Semi dura
	Sh	HB.C.R	302	0,49	394,77	Semi dura
		HB.C.T	323	0,53	389,15	Semi dura
		HB.C.L	299	0,50	380,89	Semi dura

HB.C.R: Dureza de la madera en la cara radial

HB.C.T: Dureza de la madera en la cara tangencial

HB.C.L: Dureza de la madera en la cara longitudinal  
 HB. CR. CT. CL: Dureza de la madera cara radial, tangencial y longitudinal.  
 P (kg): Carga aplicada  
 d (cm): Diámetro de la huella de la madera.  
 HB (kg/cm<sup>2</sup>): Resistencia a la Dureza.

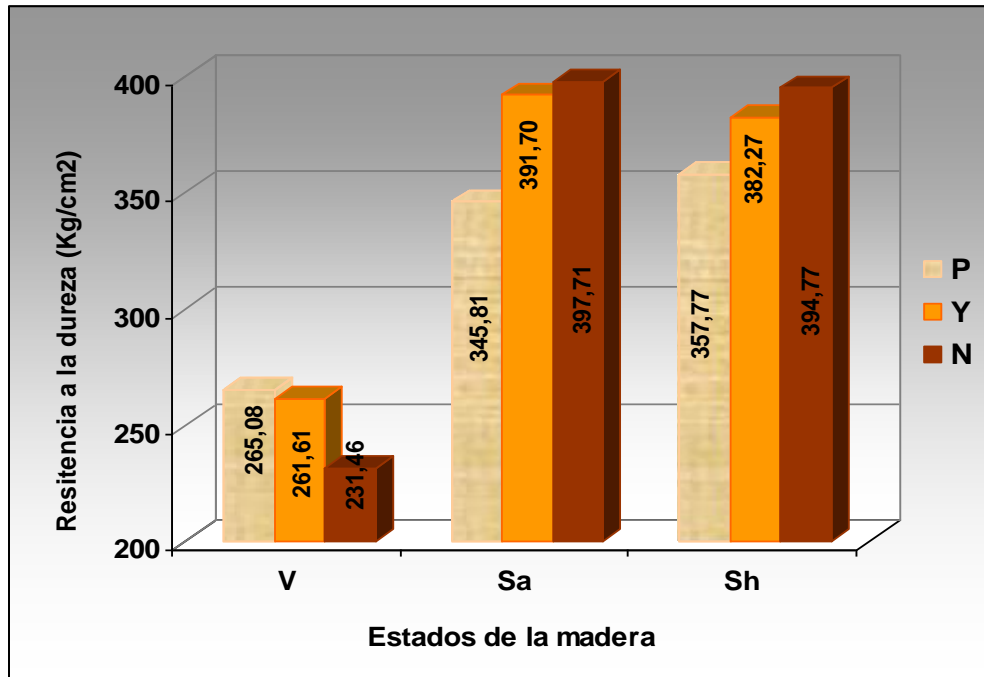


Gráfico N° 8 . Prueba de dureza (cara radial) en estados v/sa/sh.

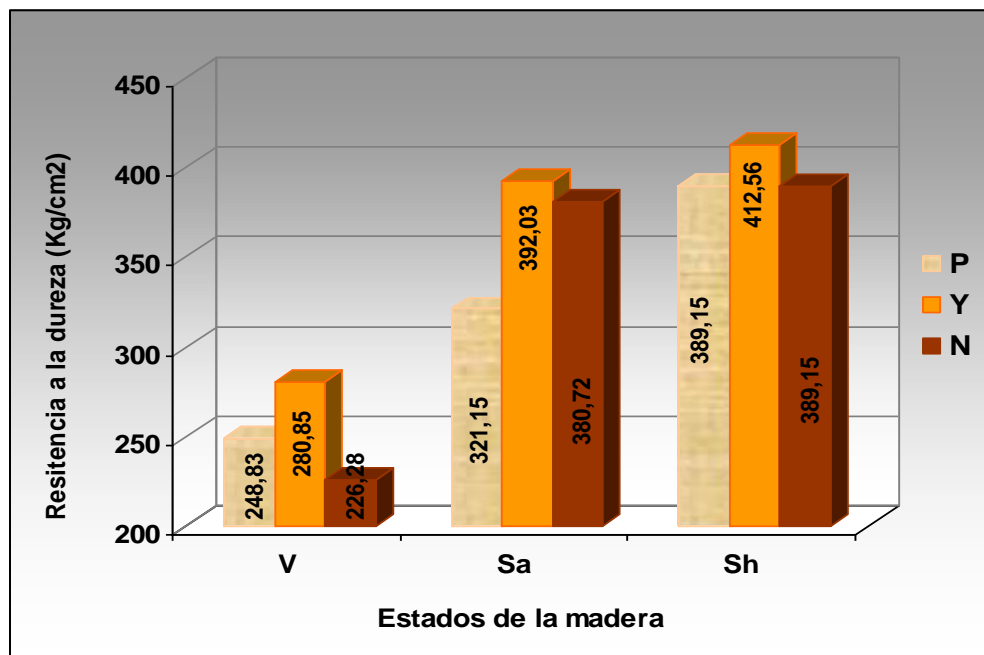


Gráfico N° 9. Prueba de dureza (cara tangencial) en estados v/sa/sh.

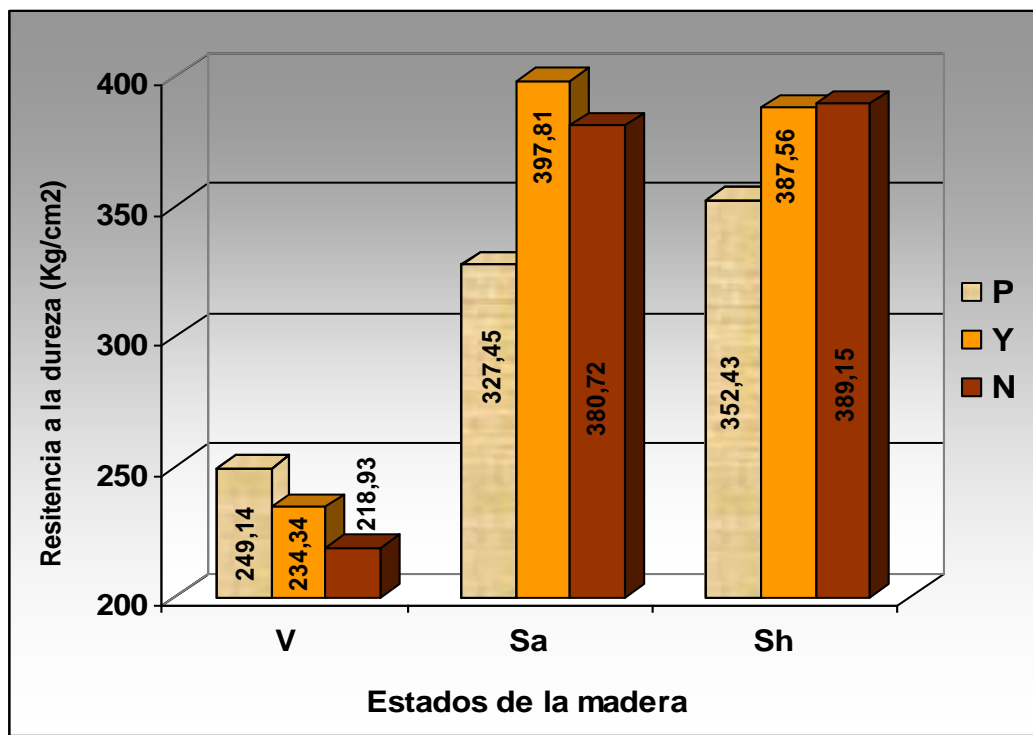


Gráfico N° 10. Prueba de dureza (cara longitudinal) en estados v/sa/sh.

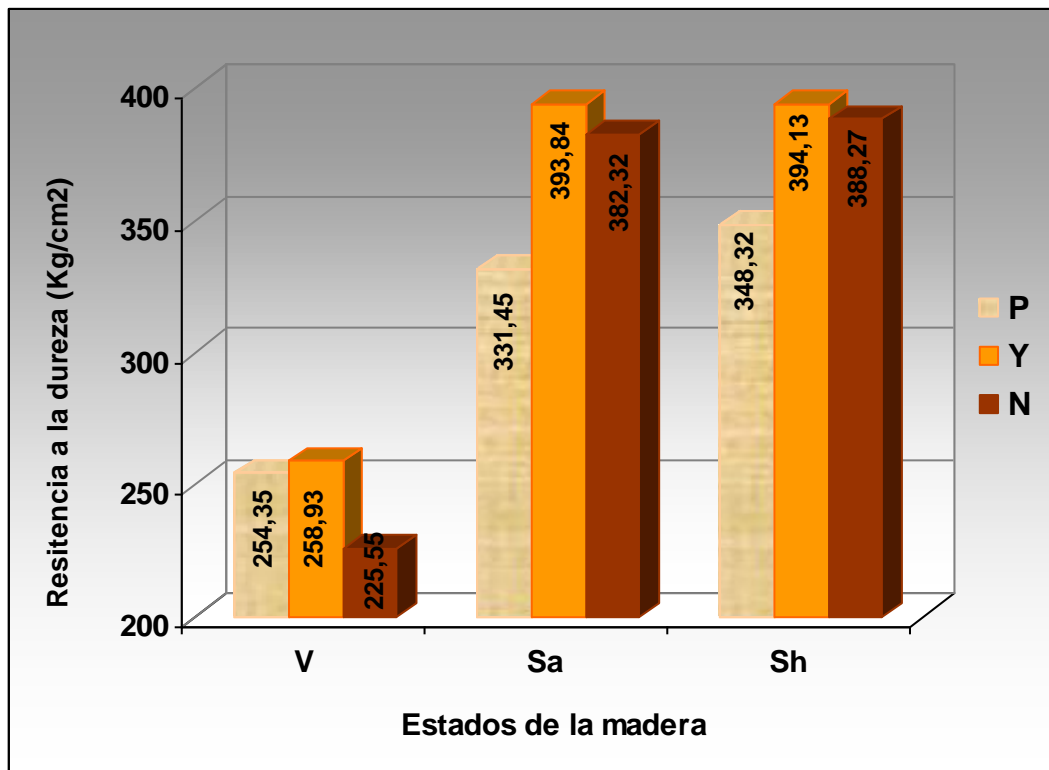


Gráfico N° 11. Prueba de dureza (valores promedios) en estados v/sa/sh.

**c. Ensayo de cizallamiento o corte.**

**Cuadro N° 17. Prueba de resistencia al cizallamiento**

Especies (Código)	Estados (V/Sa/sh)	DATOS		
		P kg	Dx cm	Ax cm <sup>2</sup>
P (5)	V	1550.14	1.98	3.07
	Sa	1606.08	1.97	3.04
	Sh	1619.14	1.97	3.04
Y (5)	V	1260.15	1.92	2.89
	Sa	1314.19	1.87	2.74
	Sh	1338,16	1.88	2.77
N (5)	V	1649.32	2.00	3.14
	Sa	1656.38	1.98	3.07
	Sh	1646.79	1.97	3.04

P: Carga aplicada kg

Dx: Diámetro promedio de las probetas cm

Ax: Área resistente promedio cm<sup>2</sup>

$\sigma_c$ : Resistencia o esfuerzo de corte. Kg/cm<sup>2</sup>

(5): Prueba: Resistencia al corte o cizallamiento

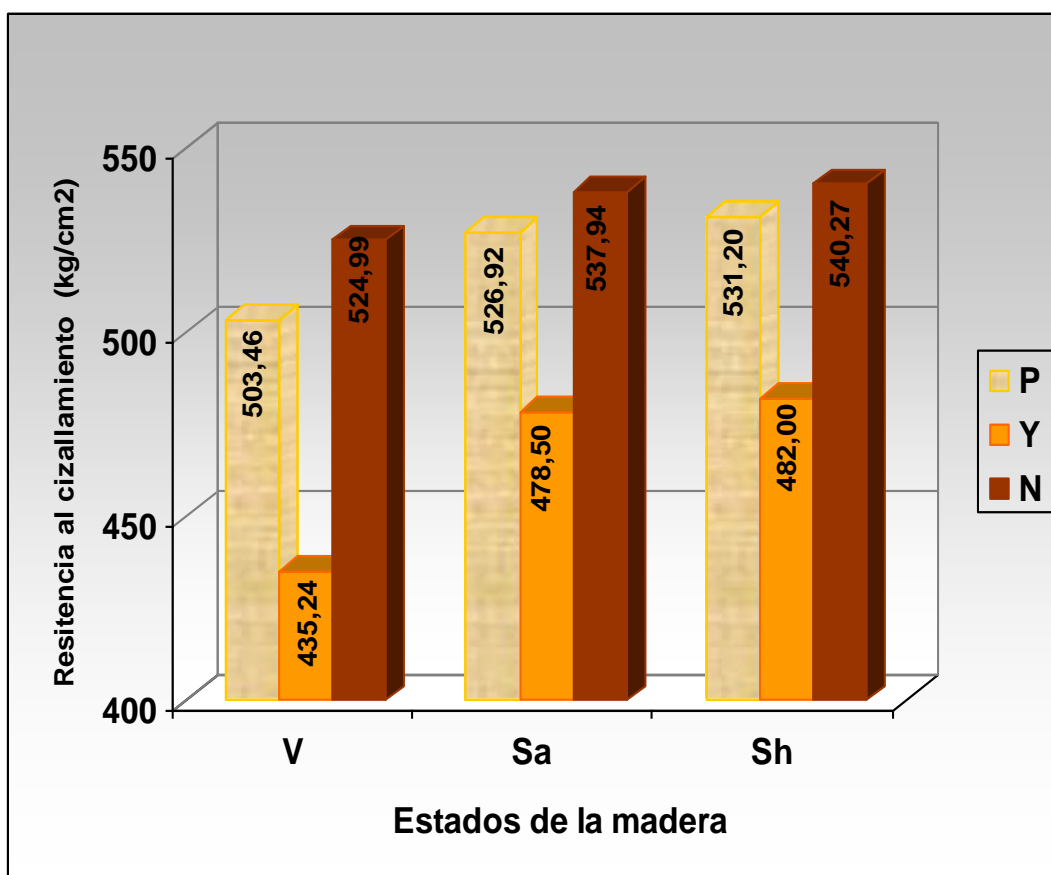
**Cuadro N° 18. Resultados del ensayo de corte o cizallamiento.**

Prueba (5)	Estados (V/Sa/SH)	P	Especies	
			Y	N
Cizallamiento $\sigma_c$ kg/ cm <sup>2</sup>	V	503.46	435.24	524.99
		Muy alto	Muy alto	Muy alto
	Sa	526.92	478.50	537.94
		Muy alto	Muy alto	Muy alto
	Sh	531.20	482.00	540.27
		Muy alto	Muy alto	Muy alto



Gráficamente y mediante los cuadros 17 y 18 podemos determinar que las tres especies en estudio tienen un rango de clasificación muy alta en los tres tipos de estados de la madera de acuerdo al cuadro comparativo C de límites de valores para la clasificación de especies citado por Sotomayor (1987), Hinojosa H y Zavala P (1992).

De acuerdo a los valores, la mayor resistencia al corte en los tres tipos de estado se observa con las probetas secas al horno y los más bajos con las probetas en estado verde, por lo que se puede confirmar lo que señala Andrade 1990 de acuerdo a estudios realizados en la anatomía y secado de la madera, donde indica que a menor contenido de humedad existe mayor resistencia, ya que a medida que las maderas se secan las paredes celulares se vuelven más duras y rígidas lo cual trae consigo un aumento de las propiedades mecánicas.



**Gráfico N° 12. Prueba de resistencia al cizallamiento con probetas en estados v/sa/sh.**

#### d. Ensayo de resistencia a la compresión paralela.

De acuerdo a los datos obtenidos en el cuadro 19 y 20, se puede indicar que las especies en estudio tuvieron un comportamiento siguiendo lo establecido por la ley de Hooke en el cual manifiesta que: la deformación que experimenta un cuerpo es directamente proporcional al esfuerzo producido. Pudiendo determinar que la especie del nogal al igual que la especie del platuquero presenta una clasificación baja en estado seca al aire y seca al horno y muy baja en estado verde, para el yagual en los tres tipos de estado de la madera se clasifica como muy baja, la clasificación se realizó en base al cuadro comparativo C propuesto por Sotomayor (1987), Hinojosa H y Zavala P (1992).

**Cuadro N° 19. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano**

Especies (código)	Estados (V/Sa/Sh)	Pmx kg	Ax cm <sup>2</sup>	Lx mm	εmx mm/mm x 10 <sup>-3</sup>
P (6)	V	6716,00	25,03	150,02	14,20
	Sa	9158,80	23,48	147,25	26,89
	Sh	9076,70	23,00	147,45	27,74
Y (6)	V	3840,12	25,00	153,60	22,38
	Sa	6106,00	23,48	147,00	24,01
	Sh	6716,80	24,00	147,04	24,96
N (6)	V	4854,10	24,78	150,70	30,86
	Sa	9362,30	23,62	149,25	38,32
	Sh	9565,80	23,94	148,92	39,15

(6): Prueba: Resistencia a la compresión paralela al grano.

Pmx: Carga máxima promedio.

Ax. Área resistente promedio.

Lx: Longitud promedio de la probeta.

σx: Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura

εmx: Deformación máxima promedio

Cuadro N° 20. Clasificación de la resistencia a la compresión paralela al grano.

Prueba /estados	ESPECIES /CÓDIGO		
	P	Y	N
V (6)	268,35 Muy bajo	153,60 Muy bajo	195,89 Muy bajo
Sa (6)	392,07 Bajo	260,06 Muy bajo	396,37 Bajo
Sh (6)	394,64 Bajo	279,87 Muy bajo	399,57 Bajo

$\sigma$ : Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura.

(6): Compresión paralela al grano.

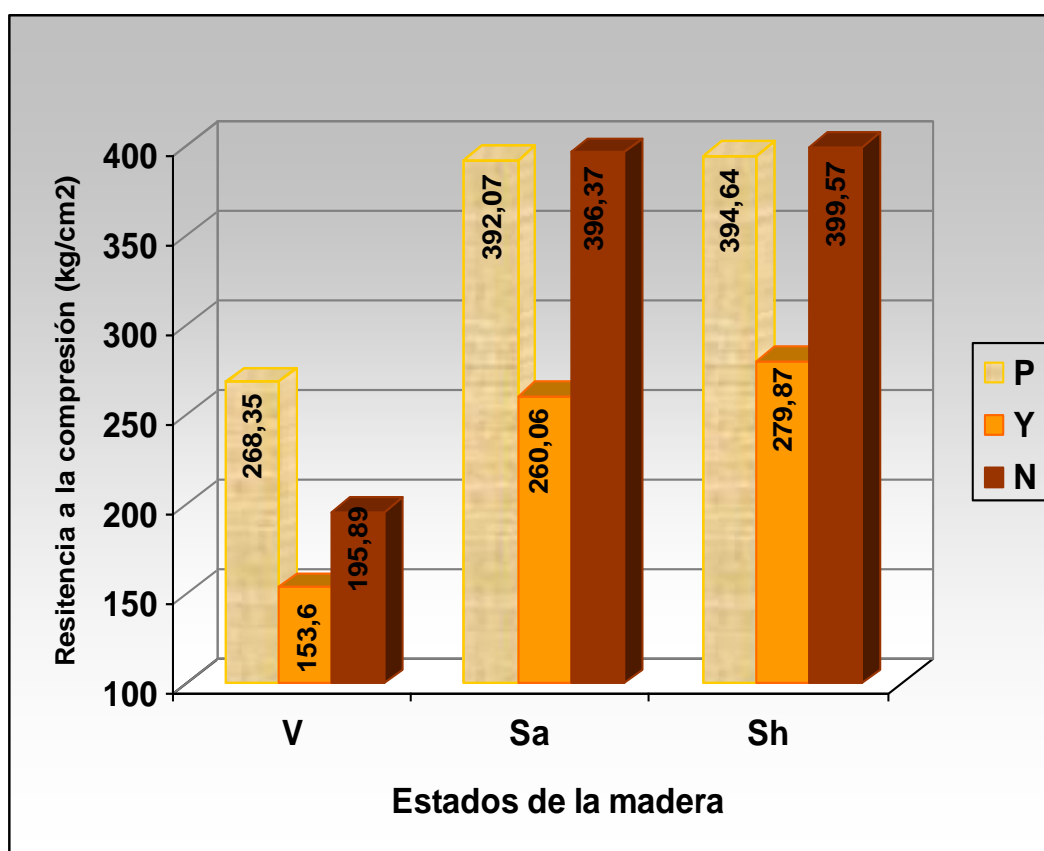
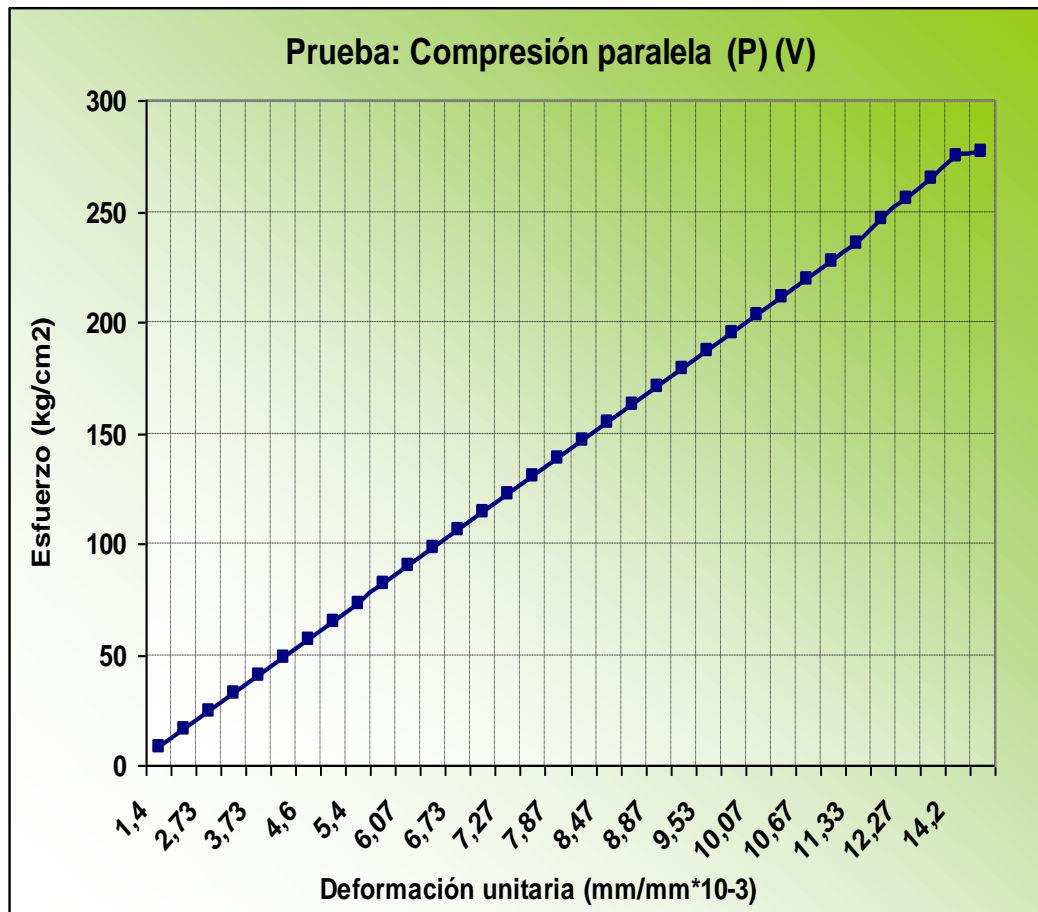


Gráfico N° 13. Prueba de resistencia a la compresión paralela en estado v/sa/sh.

**Cuadro N° 21. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero en estado verde.**

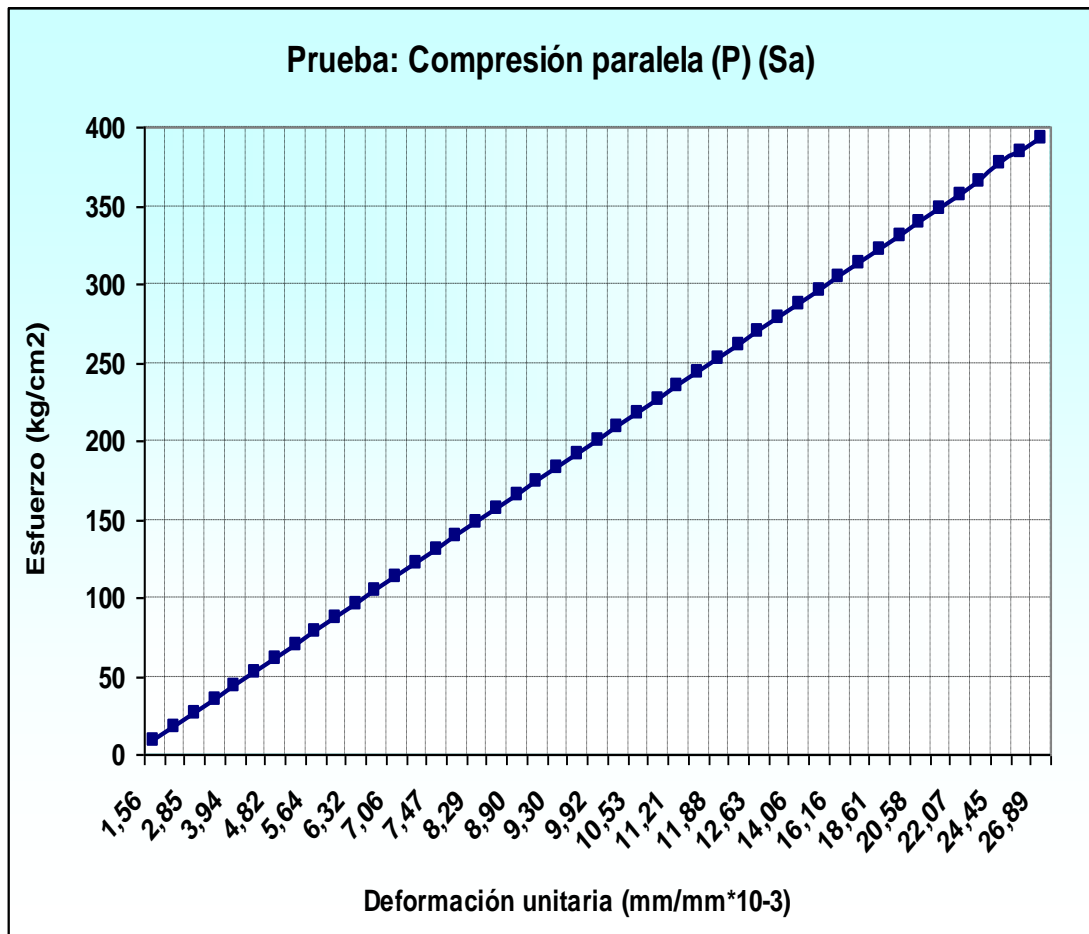
<b>ESTADO Verde</b>	<b>P kg</b>	<b>Pcorr. kg</b>	<b><math>\delta</math> mm x 10-2</b>	<b>A cm<sup>2</sup></b>	<b>L mm</b>	<b><math>\sigma</math> Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>E mm/mmE-3</b>
	200	204,8	21,00	25,03	150,02	8,18	1,40
	400	408,3	31,00	25,03	150,02	16,31	2,07
	600	611,8	41,00	25,03	150,02	24,44	2,73
	800	815,3	49,00	25,03	150,02	32,57	3,27
	1000	1019	56,00	25,03	150,02	40,70	3,73
	1200	1222,3	63,00	25,03	150,02	48,83	4,20
	1400	1425,8	69,00	25,03	150,02	56,96	4,60
	1600	1629,3	75,00	25,03	150,02	65,09	5,00
	1800	1832,8	81,00	25,03	150,02	73,22	5,40
	2000	2036	86,00	25,03	150,02	81,35	5,73
	2200	2239,8	91,00	25,03	150,02	89,48	6,07
	2400	2443,3	96,00	25,03	150,02	97,61	6,40
	2600	2646,8	101,00	25,03	150,02	105,75	6,73
	2800	2850,3	105,00	25,03	150,02	113,88	7,00
	3000	3054	109,00	25,03	150,02	122,01	7,27
	3200	3257,3	114,00	25,03	150,02	130,14	7,60
	3400	3460,8	118,00	25,03	150,02	138,27	7,87
	3600	3664,3	122,00	25,03	150,02	146,40	8,13
	3800	3867,8	127,00	25,03	150,02	154,53	8,47
	4000	4071	129,00	25,03	150,02	162,66	8,60
	4200	4274,8	133,00	25,03	150,02	170,79	8,87
	4400	4478,3	138,00	25,03	150,02	178,92	9,20
	4600	4681,8	143,00	25,03	150,02	187,05	9,53
	4800	4885,3	147,00	25,03	150,02	195,18	9,80
	5000	5089	151,00	25,03	150,02	203,31	10,07
	5200	5292,3	156,00	25,03	150,02	211,44	10,40
	5400	5495,8	160,00	25,03	150,02	219,57	10,67
	5600	5699,3	165,00	25,03	150,02	227,70	11,00
	5800	5902,8	170,00	25,03	150,02	235,83	11,33
	6000	6106	176,00	25,03	150,02	243,96	11,73
	6200	6309,8	184,00	25,03	150,02	252,09	12,27
	6400	6513,3	195,00	25,03	150,02	260,22	13,00
	6600	6716,8	213,00	25,03	150,02	268,35	14,20



**Gráfico N° 14. Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado verde.**

**Cuadro N° 22. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero, en estado seco al aire.**

ESTADO (Sa)	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	204,8	23,00	23,36	147,25	8,77	1,56
400	408,3	408,3	33,00	23,36	147,25	17,48	2,24
600	611,8	611,8	42,00	23,36	147,25	26,19	2,85
800	815,3	815,3	51,00	23,36	147,25	34,90	3,46
1000	1019	1019	58,00	23,36	147,25	43,61	3,94
1200	1222,3	1222,3	64,00	23,36	147,25	52,32	4,35
1400	1425,8	1425,8	71,00	23,36	147,25	61,04	4,82
1600	1629,3	1629,3	77,00	23,36	147,25	69,75	5,23
1800	1832,8	1832,8	83,00	23,36	147,25	78,46	5,64
2000	2036	2036	89,00	23,36	147,25	87,17	6,04
2200	2239,8	2239,8	93,00	23,36	147,25	95,88	6,32
2400	2443,3	2443,3	99,00	23,36	147,25	104,59	6,72
2600	2646,8	2646,8	104,00	23,36	147,25	113,30	7,06
2800	2850,3	2850,3	107,00	23,36	147,25	122,02	7,27
3000	3054	3054	110,00	23,36	147,25	130,73	7,47
3200	3257,3	3257,3	117,00	23,36	147,25	139,44	7,95
3400	3460,8	3460,8	122,00	23,36	147,25	148,15	8,29
3600	3664,3	3664,3	125,00	23,36	147,25	156,86	8,49
3800	3867,8	3867,8	131,00	23,36	147,25	165,57	8,90
4000	4071	4071	133,00	23,36	147,25	174,29	9,03
4200	4274,8	4274,8	137,00	23,36	147,25	183,00	9,30
4400	4478,3	4478,3	142,00	23,36	147,25	191,71	9,64
4600	4681,8	4681,8	146,00	23,36	147,25	200,42	9,92
4800	4885,3	4885,3	150,00	23,36	147,25	209,13	10,19
5000	5089	5089	155,00	23,36	147,25	217,84	10,53
5200	5292,3	5292,3	160,00	23,36	147,25	226,55	10,87
5400	5495,8	5495,8	165,00	23,36	147,25	235,27	11,21
5600	5699,3	5699,3	170,00	23,36	147,25	243,98	11,54
5800	5902,8	5902,8	175,00	23,36	147,25	252,69	11,88
6000	6106	6106	181,00	23,36	147,25	261,40	12,29
6200	6309,8	6309,8	186,00	23,36	147,25	270,11	12,63
6400	6513,3	6513,3	196,00	23,36	147,25	278,82	13,31
6600	6716,8	6716,8	207,00	23,36	147,25	287,53	14,06
6800	6920,3	6920,3	220,00	23,36	147,25	296,25	14,94
7000	7124	7124	238,00	23,36	147,25	304,96	16,16
7200	7327,3	7327,3	256,00	23,36	147,25	313,67	17,39
7400	7530,8	7530,8	274,00	23,36	147,25	322,38	18,61
7600	7734,3	7734,3	283,00	23,36	147,25	331,09	19,22
7800	7937,8	7937,8	303,00	23,36	147,25	339,80	20,58
8000	8141	8141	314,00	23,36	147,25	348,51	21,32
8200	8344,8	8344,8	325,00	23,36	147,25	357,23	22,07
8400	8548,3	8548,3	342,00	23,36	147,25	365,94	23,23
8600	8751,8	8751,8	360,00	23,36	147,25	374,65	24,45
8800	8955,3	8955,3	378,00	23,36	147,25	383,36	25,67
9000	9158,8	9158,8	396,00	23,36	147,25	392,07	26,89

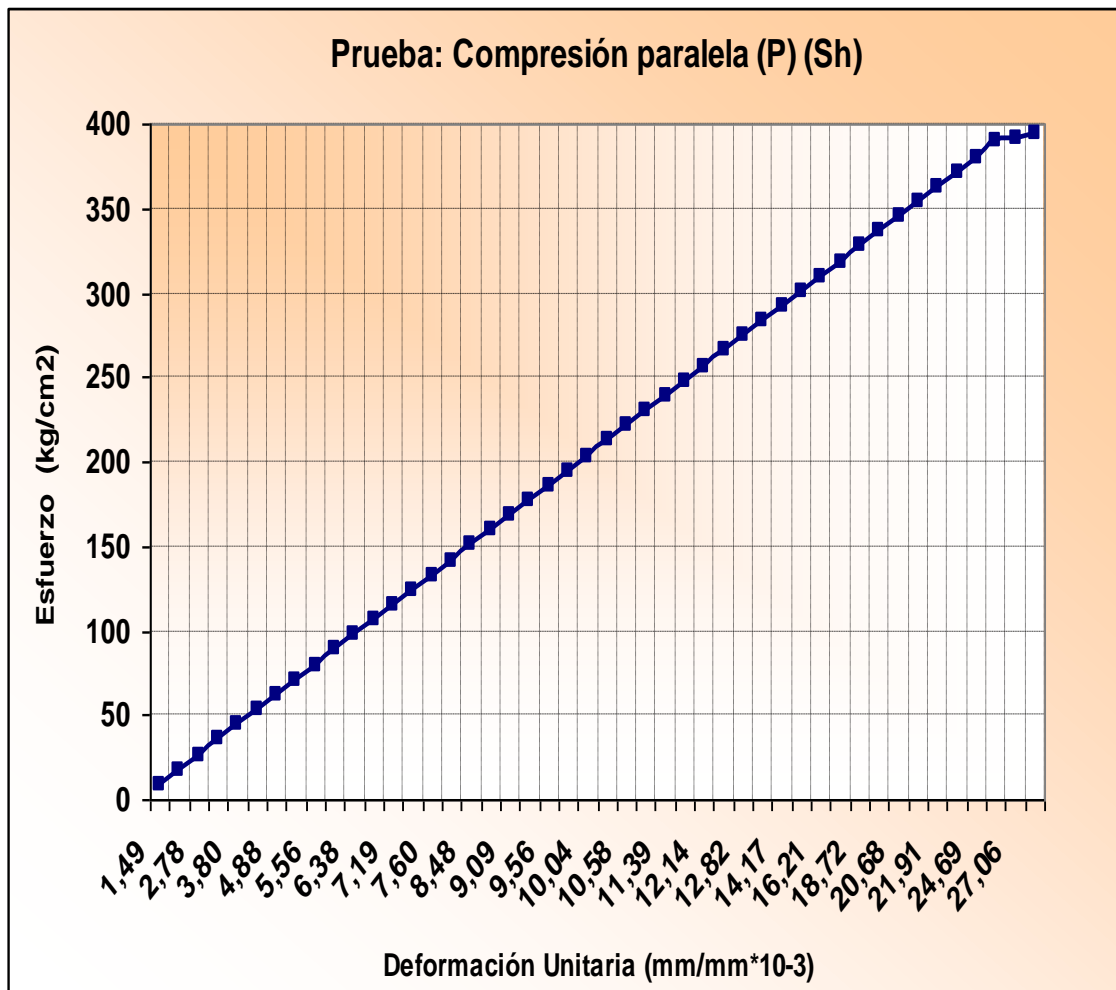


**Gráfico N° 15. Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al aire.**

**Cuadro N° 23. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del platuquero, en estado seco al horno.**

ESTADO (Sh)	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	204,8	22,00	23,00	147,45	8,90	1,49
400	408,3	408,3	30,00	23,00	147,45	17,75	2,03
600	611,8	611,8	41,00	23,00	147,45	26,60	2,78
800	815,3	815,3	50,00	23,00	147,45	35,45	3,39
1000	1018,8	1018,8	56,00	23,00	147,45	44,30	3,80
1200	1222,3	1222,3	65,00	23,00	147,45	53,14	4,41
1400	1425,8	1425,8	72,00	23,00	147,45	61,99	4,88
1600	1629,3	1629,3	76,00	23,00	147,45	70,84	5,15
1800	1832,8	1832,8	82,00	23,00	147,45	79,69	5,56
2000	2036,3	2036,3	91,00	23,00	147,45	88,53	6,17
2200	2239,8	2239,8	94,00	23,00	147,45	97,38	6,38
2400	2443,3	2443,3	100,00	23,00	147,45	106,23	6,78
2600	2646,8	2646,8	106,00	23,00	147,45	115,08	7,19
2800	2850,3	2850,3	109,00	23,00	147,45	123,93	7,39
3000	3053,8	3053,8	112,00	23,00	147,45	132,77	7,60
3200	3257,3	3257,3	116,00	23,00	147,45	141,62	7,87
3400	3460,8	3460,8	125,00	23,00	147,45	150,47	8,48
3600	3664,3	3664,3	129,00	23,00	147,45	159,32	8,75
3800	3867,8	3867,8	134,00	23,00	147,45	168,17	9,09
4000	4071,3	4071,3	138,00	23,00	147,45	177,01	9,36
4200	4274,8	4274,8	141,00	23,00	147,45	185,86	9,56
4400	4478,3	4478,3	146,00	23,00	147,45	194,71	9,90
4600	4681,8	4681,8	148,00	23,00	147,45	203,56	10,04
4800	4885,3	4885,3	154,00	23,00	147,45	212,40	10,44
5000	5088,8	5088,8	156,00	23,00	147,45	221,25	10,58
5200	5292,3	5292,3	164,00	23,00	147,45	230,10	11,12
5400	5495,8	5495,8	168,00	23,00	147,45	238,95	11,39
5600	5699,3	5699,3	174,00	23,00	147,45	247,80	11,80
5800	5902,8	5902,8	179,00	23,00	147,45	256,64	12,14
6000	6106,3	6106,3	187,00	23,00	147,45	265,49	12,68
6200	6309,8	6309,8	189,00	23,00	147,45	274,34	12,82
6400	6513,3	6513,3	196,00	23,00	147,45	283,19	13,29
6600	6716,8	6716,8	209,00	23,00	147,45	292,03	14,17
6800	6920,3	6920,3	222,00	23,00	147,45	300,88	15,06
7000	7123,8	7123,8	239,00	23,00	147,45	309,73	16,21
7200	7327,3	7327,3	258,00	23,00	147,45	318,58	17,50
7400	7530,8	7530,8	276,00	23,00	147,45	327,43	18,72
7600	7734,3	7734,3	284,00	23,00	147,45	336,27	19,26
7800	7937,8	7937,8	305,00	23,00	147,45	345,12	20,68
8000	8141,3	8141,3	319,00	23,00	147,45	353,97	21,63
8200	8344,8	8344,8	323,00	23,00	147,45	362,82	21,91
8400	8548,3	8548,3	348,00	23,00	147,45	371,67	23,60
8600	8751,8	8751,8	364,00	23,00	147,45	380,51	24,69
8800	8955,3	8955,3	379,00	23,00	147,45	389,36	25,70
9000	9016	9016	399,00	23,00	147,45	392,00	27,06
9200	9076,7	9076,7	409,00	23,00	147,45	394,64	27,74

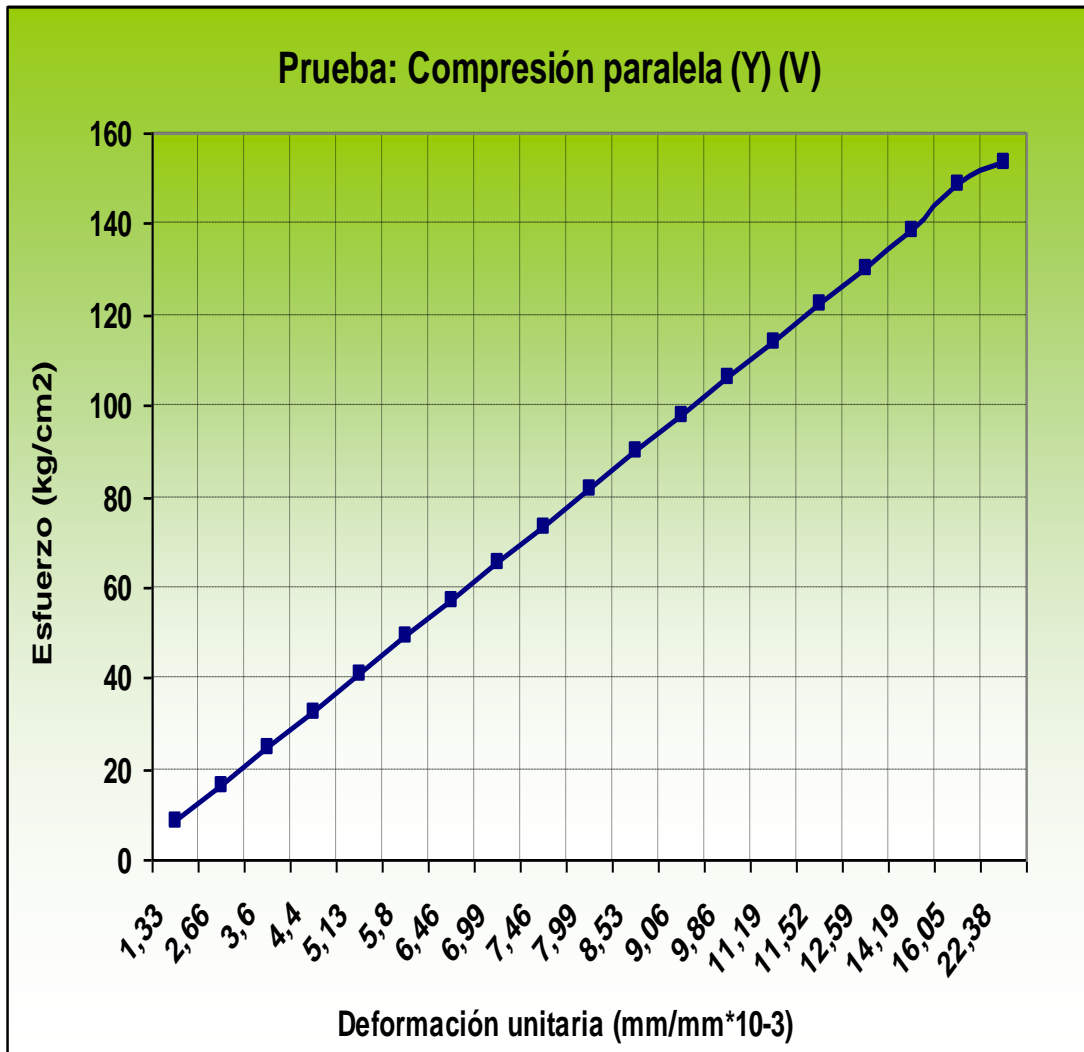




**Gráfico N° 16. Prueba de compresión paralela al grano del platuquero en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 24. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual en estado verde.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Verde	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	200	204,8	20,00	25,00	150,12	8,19	1,33
	400	408,3	40,00	25,00	150,12	16,33	2,66
	600	611,8	54,00	25,00	150,12	24,47	3,60
	800	815,3	66,00	25,00	150,12	32,61	4,40
	1000	1019	77,00	25,00	150,12	40,75	5,13
	1200	1222,3	87,00	25,00	150,12	48,89	5,80
	1400	1425,8	97,00	25,00	150,12	57,03	6,46
	1600	1629,3	105,00	25,00	150,12	65,17	6,99
	1800	1832,8	112,00	25,00	150,12	73,31	7,46
	2000	2036	120,00	25,00	150,12	81,45	7,99
	2200	2239,8	128,00	25,00	150,12	89,59	8,53
	2400	2443,3	136,00	25,00	150,12	97,73	9,06
	2600	2646,8	148,00	25,00	150,12	105,87	9,86
	2800	2850,3	168,00	25,00	150,12	114,01	11,19
	3000	3054	173,00	25,00	150,12	122,15	11,52
	3200	3257,3	189,00	25,00	150,12	130,29	12,59
	3400	3460,8	213,00	25,00	150,12	138,43	14,19
	3600	3664,3	241,00	25,00	150,12	146,57	16,05
	3800	3840,12	336,00	25,00	150,12	153,60	22,38



**Gráfico N° 17. Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado verde.**

**Cuadro N° 25. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual en estado seco al aire.**

ESTADO Sa	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	14,00	23,48	147,00	8,72	0,95
	400	408,3	25,00	23,48	147,00	17,39	1,70
	600	611,8	32,00	23,48	147,00	26,06	2,18
	800	815,3	39,00	23,48	147,00	34,72	2,65
	1000	1018	45,00	23,48	147,00	43,39	3,06
	1200	1222,3	51,00	23,48	147,00	52,06	3,47
	1400	1425,8	56,00	23,48	147,00	60,72	3,81
	1600	1629,3	62,00	23,48	147,00	69,39	4,22
	1800	1832,8	68,00	23,48	147,00	78,06	4,63
	2000	2036	74,00	23,48	147,00	86,72	5,03
	2200	2239,8	81,00	23,48	147,00	95,39	5,51
	2400	2443,3	89,00	23,48	147,00	104,06	6,05
	2600	2646,8	97,00	23,48	147,00	112,73	6,60
	2800	2850,3	105,00	23,48	147,00	121,39	7,14
	3000	3053	118,00	23,48	147,00	130,06	8,03
	3200	3257,3	131,00	23,48	147,00	138,73	8,91
	3400	3460,8	144,00	23,48	147,00	147,39	9,80
	3600	3664,3	157,00	23,48	147,00	156,06	10,68
	3800	3867,8	174,00	23,48	147,00	164,73	11,84
	4000	4071	187,00	23,48	147,00	173,39	12,72
	4200	4274,8	200,00	23,48	147,00	182,06	13,61
	4400	4478,3	217,00	23,48	147,00	190,73	14,76
	4600	4681,8	234,00	23,48	147,00	199,40	15,92
	4800	4885,3	251,00	23,48	147,00	208,06	17,07
	5000	5088	268,00	23,48	147,00	216,73	18,23
	5200	5292,3	285,00	23,48	147,00	225,40	19,39
	5400	5495,8	302,00	23,48	147,00	234,06	20,54
	5600	5699,3	319,00	23,48	147,00	242,73	21,70
	5800	5902,8	336,00	23,48	147,00	251,40	22,86
	6000	6106	353,00	23,48	147,00	260,06	24,01

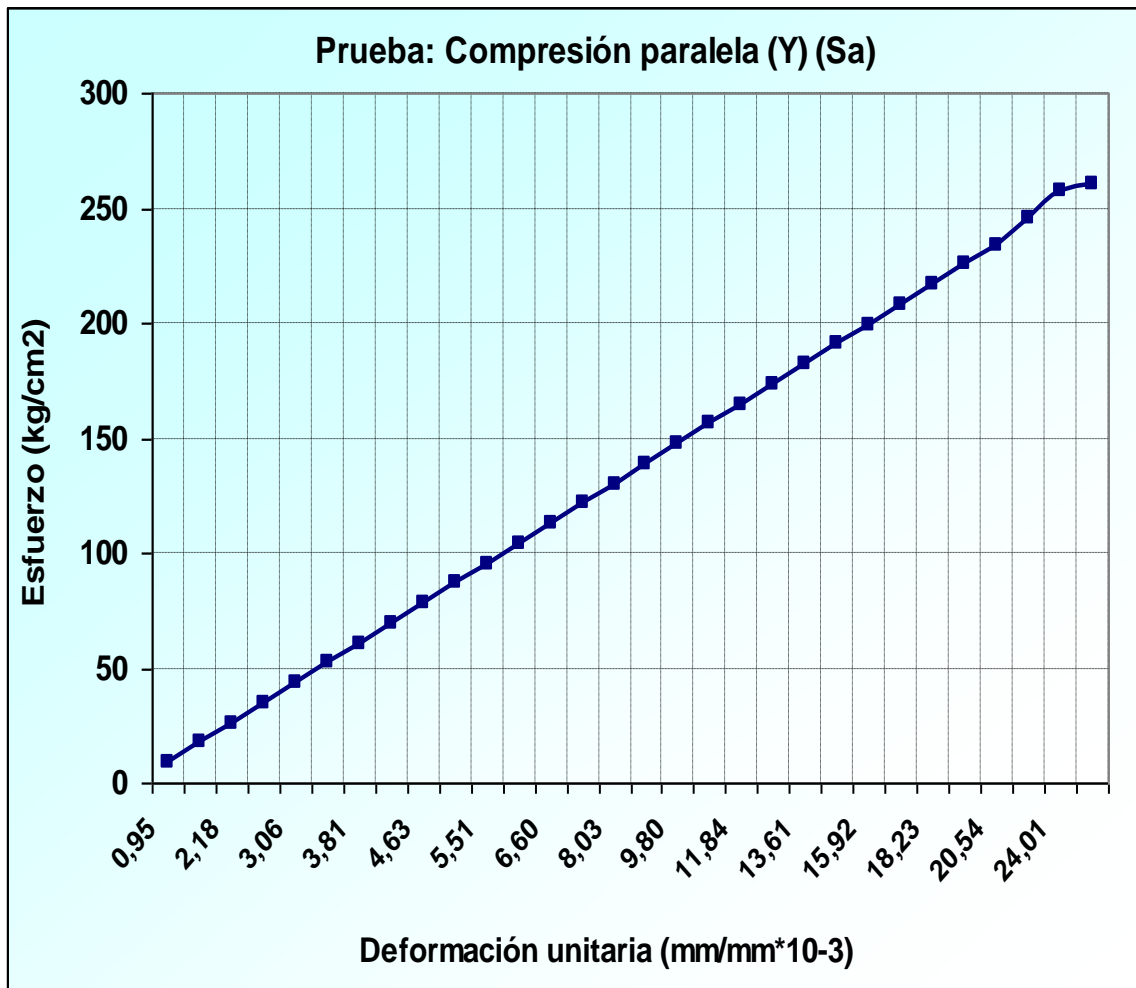
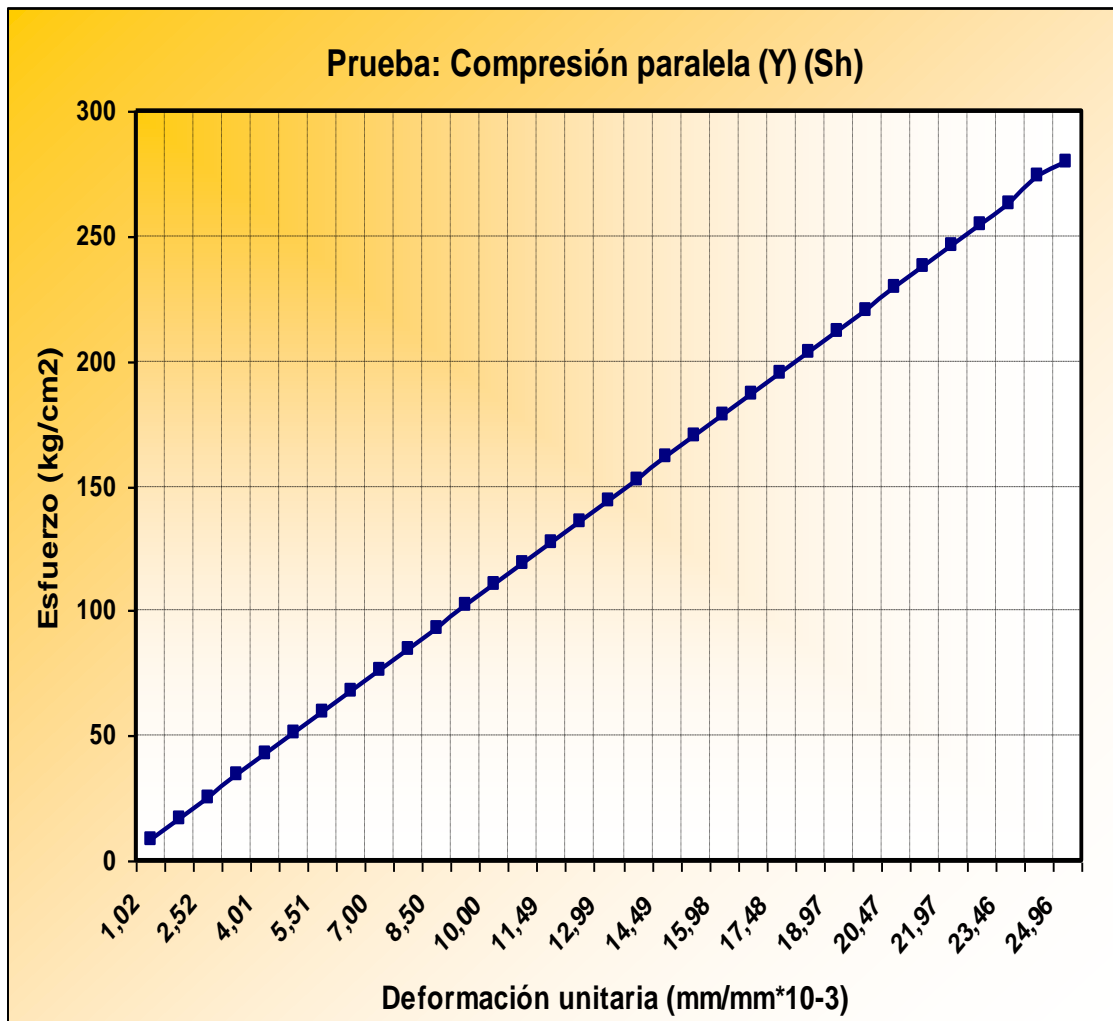


Gráfico N° 18. Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado seco al aire

**Cuadro N° 26. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del yagual, en estado seco al horno.**

ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	204,8	15,00	24,00	147,04	8,53	1,02
400	408,3	408,3	26,00	24,00	147,04	17,01	1,77
600	611,8	611,8	37,00	24,00	147,04	25,49	2,52
800	815,3	815,3	48,00	24,00	147,04	33,97	3,26
1000	1018,8	1018,8	59,00	24,00	147,04	42,45	4,01
1200	1222,3	1222,3	70,00	24,00	147,04	50,93	4,76
1400	1425,8	1425,8	81,00	24,00	147,04	59,41	5,51
1600	1629,3	1629,3	92,00	24,00	147,04	67,89	6,26
1800	1832,8	1832,8	103,00	24,00	147,04	76,37	7,00
2000	2036,3	2036,3	114,00	24,00	147,04	84,85	7,75
2200	2239,8	2239,8	125,00	24,00	147,04	93,33	8,50
2400	2443,3	2443,3	136,00	24,00	147,04	101,80	9,25
2600	2646,8	2646,8	147,00	24,00	147,04	110,28	10,00
2800	2850,3	2850,3	158,00	24,00	147,04	118,76	10,75
3000	3053,8	3053,8	169,00	24,00	147,04	127,24	11,49
3200	3257,3	3257,3	180,00	24,00	147,04	135,72	12,24
3400	3460,8	3460,8	191,00	24,00	147,04	144,20	12,99
3600	3664,3	3664,3	202,00	24,00	147,04	152,68	13,74
3800	3867,8	3867,8	213,00	24,00	147,04	161,16	14,49
4000	4071,3	4071,3	224,00	24,00	147,04	169,64	15,23
4200	4274,8	4274,8	235,00	24,00	147,04	178,12	15,98
4400	4478,3	4478,3	246,00	24,00	147,04	186,60	16,73
4600	4681,8	4681,8	257,00	24,00	147,04	195,08	17,48
4800	4885,3	4885,3	268,00	24,00	147,04	203,55	18,23
5000	5088,8	5088,8	279,00	24,00	147,04	212,03	18,97
5200	5292,3	5292,3	290,00	24,00	147,04	220,51	19,72
5400	5495,8	5495,8	301,00	24,00	147,04	228,99	20,47
5600	5699,3	5699,3	312,00	24,00	147,04	237,47	21,22
5800	5902,8	5902,8	323,00	24,00	147,04	245,95	21,97
6000	6106,3	6106,3	334,00	24,00	147,04	254,43	22,71
6200	6309,8	6309,8	345,00	24,00	147,04	262,91	23,46
6400	6513,3	6513,3	356,00	24,00	147,04	271,39	24,21
6600	6716,8	6716,8	367,00	24,00	147,04	279,87	24,96

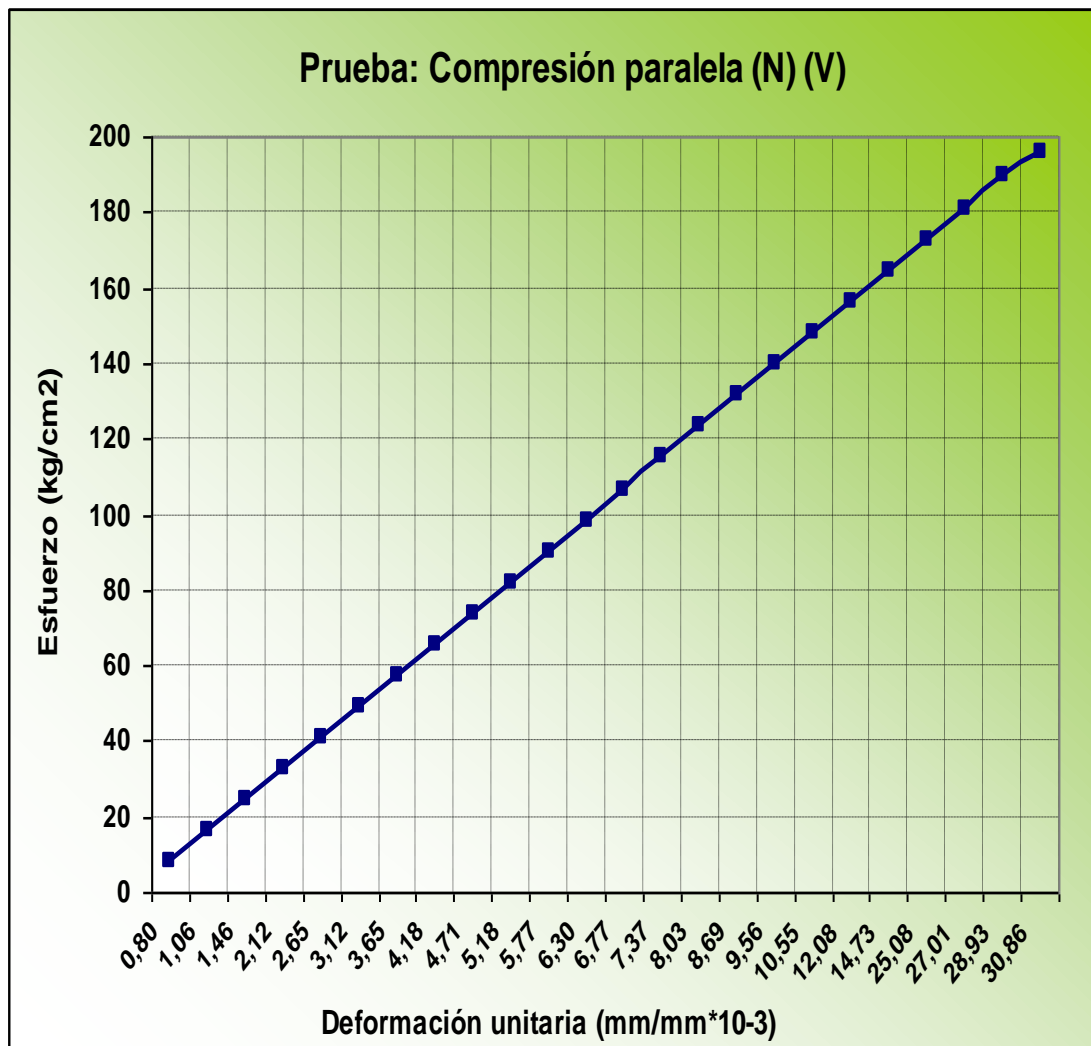


**Gráfico N° 19. Prueba de compresión paralela al grano del yagual en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 27. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal, en estado verde.**

<b>ESTADO verde</b>	<b>P kg</b>	<b>Pcorr kg</b>	<b><math>\delta</math> mm x 10-2</b>	<b>A cm<sup>2</sup></b>	<b>L mm</b>	<b><math>\sigma</math> Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>E mm/mmE-3</b>
	200	204,8	12,00	24,78	150,7	8,26	0,80
	400	408,3	16,00	24,78	150,7	16,48	1,06
	600	611,8	22,00	24,78	150,7	24,69	1,46
	800	815,3	32,00	24,78	150,7	32,90	2,12
	1000	1019	40,00	24,78	150,7	41,11	2,65
	1200	1222,3	47,00	24,78	150,7	49,33	3,12
	1400	1425,8	55,00	24,78	150,7	57,54	3,65
	1600	1629,3	63,00	24,78	150,7	65,75	4,18
	1800	1832,8	71,00	24,78	150,7	73,96	4,71
	2000	2036	78,00	24,78	150,7	82,18	5,18
	2200	2239,8	87,00	24,78	150,7	90,39	5,77
	2400	2443,3	95,00	24,78	150,7	98,60	6,30
	2600	2646,8	102,00	24,78	150,7	106,81	6,77
	2800	2850,3	111,00	24,78	150,7	115,02	7,37
	3000	3054	121,00	24,78	150,7	123,24	8,03
	3200	3257,3	131,00	24,78	150,7	131,45	8,69
	3400	3460,8	144,00	24,78	150,7	139,66	9,56
	3600	3664,3	159,00	24,78	150,7	147,87	10,55
	3800	3867,8	182,00	24,78	150,7	156,09	12,08
	4000	4071,3	222,00	24,78	150,7	164,30	14,73
	4200	4274,8	378,00	24,78	150,7	172,51	25,08
	4400	4478,3	407,00	24,78	150,7	180,72	27,01
	4600	4681,8	436,00	24,78	150,7	188,93	28,93
	4800	4854,1	465,00	24,78	150,7	195,89	30,86

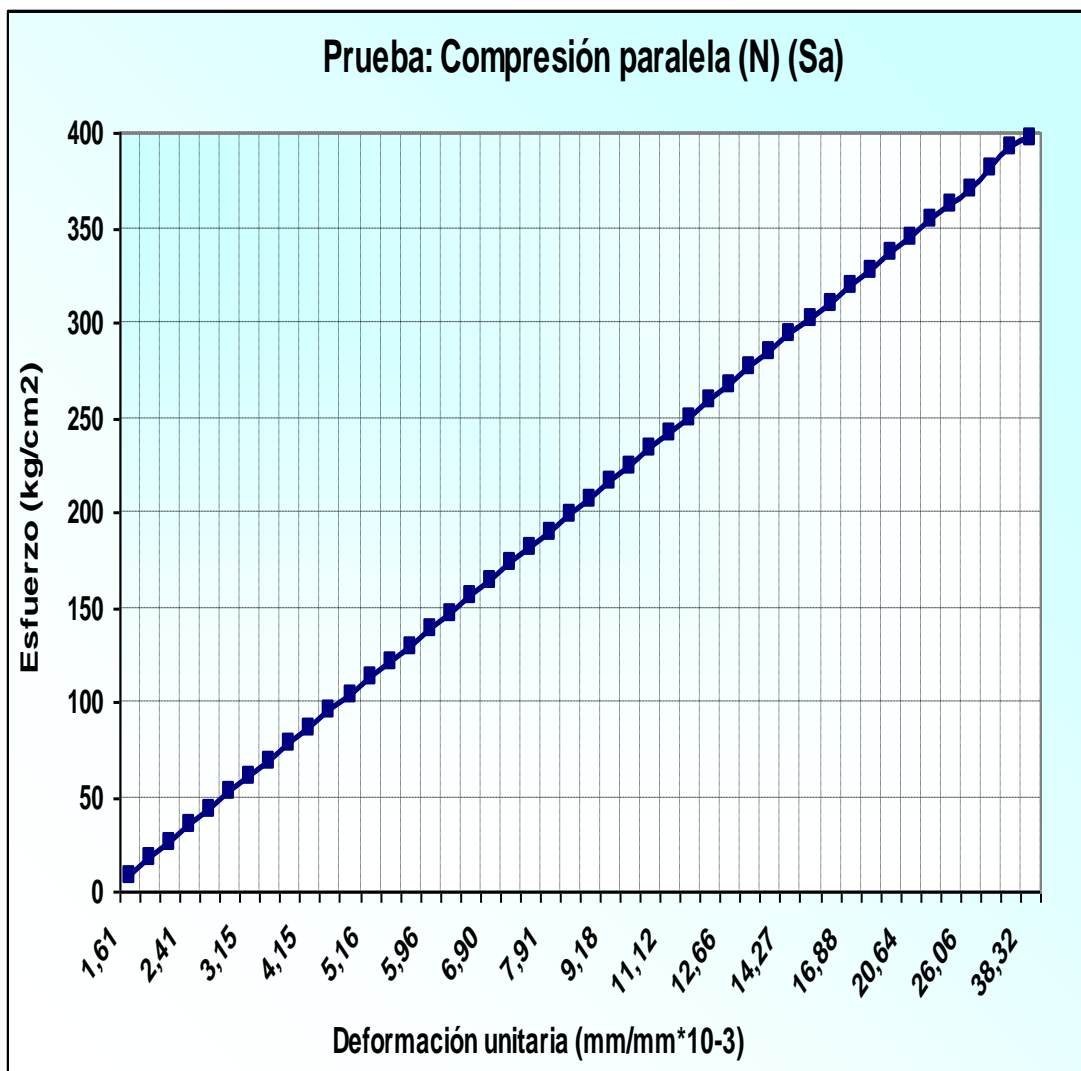




**Gráfico N° 20. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado verde.**

**Cuadro N° 28. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal, en estado seco al aire.**

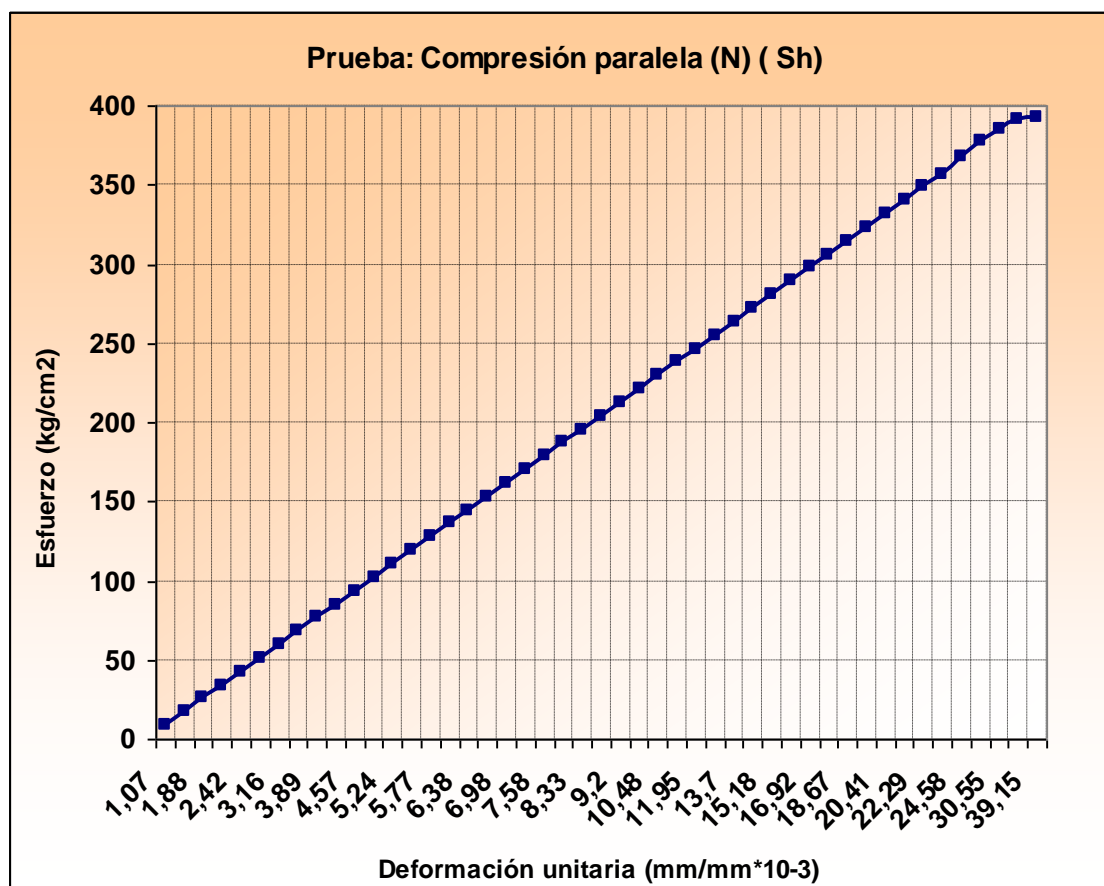
ESTADO Sa	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	204,8	24,00	23,62	149,25	8,67	1,61
400	408,3	408,3	32,00	23,62	149,25	17,29	2,14
600	611,8	611,8	35,00	23,62	149,25	25,90	2,35
800	815,3	815,3	36,00	23,62	149,25	34,52	2,41
1000	1018,8	1018,8	42,00	23,62	149,25	43,13	2,81
1200	1222,3	1222,3	44,00	23,62	149,25	51,75	2,95
1400	1425,8	1425,8	47,00	23,62	149,25	60,36	3,15
1600	1629,3	1629,3	52,00	23,62	149,25	68,98	3,48
1800	1832,8	1832,8	57,00	23,62	149,25	77,60	3,82
2000	2036,3	2036,3	62,00	23,62	149,25	86,21	4,15
2200	2239,8	2239,8	67,00	23,62	149,25	94,83	4,49
2400	2443,3	2443,3	72,00	23,62	149,25	103,44	4,82
2600	2646,8	2646,8	77,00	23,62	149,25	112,06	5,16
2800	2850,3	2850,3	81,00	23,62	149,25	120,67	5,43
3000	3053,8	3053,8	85,00	23,62	149,25	129,29	5,70
3200	3257,3	3257,3	89,00	23,62	149,25	137,90	5,96
3400	3460,8	3460,8	94,00	23,62	149,25	146,52	6,30
3600	3664,3	3664,3	98,00	23,62	149,25	155,14	6,57
3800	3867,8	3867,8	103,00	23,62	149,25	163,75	6,90
4000	4071,3	4071,3	108,00	23,62	149,25	172,37	7,24
4200	4274,8	4274,8	112,00	23,62	149,25	180,98	7,50
4400	4478,3	4478,3	118,00	23,62	149,25	189,60	7,91
4600	4681,8	4681,8	124,00	23,62	149,25	198,21	8,31
4800	4885,3	4885,3	131,00	23,62	149,25	206,83	8,78
5000	5088,8	5088,8	137,00	23,62	149,25	215,44	9,18
5200	5292,3	5292,3	146,00	23,62	149,25	224,06	9,78
5400	5495,8	5495,8	156,00	23,62	149,25	232,68	10,45
5600	5699,3	5699,3	166,00	23,62	149,25	241,29	11,12
5800	5902,8	5902,8	172,00	23,62	149,25	249,91	11,52
6000	6106,3	6106,3	178,00	23,62	149,25	258,52	11,93
6200	6309,8	6309,8	189,00	23,62	149,25	267,14	12,66
6400	6513,3	6513,3	197,00	23,62	149,25	275,75	13,20
6600	6716,8	6716,8	205,00	23,62	149,25	284,37	13,74
6800	6920,3	6920,3	213,00	23,62	149,25	292,98	14,27
7000	7123,8	7123,8	226,00	23,62	149,25	301,60	15,14
7200	7327,3	7327,3	234,00	23,62	149,25	310,22	15,68
7400	7530,8	7530,8	252,00	23,62	149,25	318,83	16,88
7600	7734,3	7734,3	270,00	23,62	149,25	327,45	18,09
7800	7937,8	7937,8	288,00	23,62	149,25	336,06	19,30
8000	8141,3	8141,3	308,00	23,62	149,25	344,68	20,64
8200	8344,8	8344,8	329,00	23,62	149,25	353,29	22,04
8400	8548,3	8548,3	366,00	23,62	149,25	361,91	24,52
8600	8751,8	8751,8	389,00	23,62	149,25	370,52	26,06
8800	8955,3	8955,3	429,00	23,62	149,25	379,14	28,74
9000	9158,8	9158,8	456,00	23,62	149,25	387,76	30,55
9200	9362,3	9362,3	572,00	23,62	149,25	396,37	38,32



**Gráfico N° 21. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado seco al aire.**

**Cuadro N° 29. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal, en estado seco al horno.**

<b>ESTADO Sh</b>	<b>P kg</b>	<b>Pcorr. kg</b>	<b><math>\delta</math> mm x 10-2</b>	<b>A cm<sup>2</sup></b>	<b>L mm</b>	<b><math>\sigma</math> Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>E mm/mmE-3</b>
200	204,8	204,8	16,00	23,94	148,92	8,55	1,07
400	408,3	408,3	24,00	23,94	148,92	17,06	1,61
600	611,8	611,8	28,00	23,94	148,92	25,56	1,88
800	815,3	815,3	32,00	23,94	148,92	34,06	2,15
1000	1018,8	1018,8	36,00	23,94	148,92	42,56	2,42
1200	1222,3	1222,3	43,00	23,94	148,92	51,06	2,89
1400	1425,8	1425,8	47,00	23,94	148,92	59,56	3,16
1600	1629,3	1629,3	53,00	23,94	148,92	68,06	3,56
1800	1832,8	1832,8	58,00	23,94	148,92	76,56	3,89
2000	2036,3	2036,3	63,00	23,94	148,92	85,06	4,23
2200	2239,8	2239,8	68,00	23,94	148,92	93,56	4,57
2400	2443,3	2443,3	73,00	23,94	148,92	102,06	4,90
2600	2646,8	2646,8	78,00	23,94	148,92	110,56	5,24
2800	2850,3	2850,3	82,00	23,94	148,92	119,06	5,51
3000	3053,8	3053,8	86,00	23,94	148,92	127,56	5,77
3200	3257,3	3257,3	90,00	23,94	148,92	136,06	6,04
3400	3460,8	3460,8	95,00	23,94	148,92	144,56	6,38
3600	3664,3	3664,3	99,00	23,94	148,92	153,06	6,65
3800	3867,8	3867,8	104,00	23,94	148,92	161,56	6,98
4000	4071,3	4071,3	108,33	23,94	148,92	170,06	7,27
4200	4274,8	4274,8	112,83	23,94	148,92	178,56	7,58
4400	4478,3	4478,3	118,00	23,94	148,92	187,06	7,92
4600	4681,8	4681,8	124,00	23,94	148,92	195,56	8,33
4800	4885,3	4885,3	131,00	23,94	148,92	204,06	8,80
5000	5088,8	5088,8	137,00	23,94	148,92	212,56	9,20
5200	5292,3	5292,3	146,00	23,94	148,92	221,07	9,80
5400	5495,8	5495,8	156,00	23,94	148,92	229,57	10,48
5600	5699,3	5699,3	166,00	23,94	148,92	238,07	11,15
5800	5902,8	5902,8	178,00	23,94	148,92	246,57	11,95
6000	6106,3	6106,3	191,00	23,94	148,92	255,07	12,83
6200	6309,8	6309,8	204,00	23,94	148,92	263,57	13,70
6400	6513,3	6513,3	215,00	23,94	148,92	272,07	14,44
6600	6716,8	6716,8	226,00	23,94	148,92	280,57	15,18
6800	6920,3	6920,3	239,00	23,94	148,92	289,07	16,05
7000	7123,8	7123,8	252,00	23,94	148,92	297,57	16,92
7200	7327,3	7327,3	265,00	23,94	148,92	306,07	17,79
7400	7530,8	7530,8	278,00	23,94	148,92	314,57	18,67
7600	7734,3	7734,3	291,00	23,94	148,92	323,07	19,54
7800	7937,8	7937,8	304,00	23,94	148,92	331,57	20,41
8000	8141,3	8141,3	317,00	23,94	148,92	340,07	21,29
8200	8344,8	8344,8	332,00	23,94	148,92	348,57	22,29
8400	8548,3	8548,3	348,00	23,94	148,92	357,07	23,37
8600	8751,8	8751,8	366,00	23,94	148,92	365,57	24,58
8800	8955,3	8955,3	390,00	23,94	148,92	374,07	26,19
9000	9158,8	9158,8	455,00	23,94	148,92	382,57	30,55
9200	9362,3	9362,3	477,00	23,94	148,92	391,07	32,03
9400	9565,8	9565,8	583,00	23,94	148,92	399,57	39,15



**Gráfico N° 22. Prueba de compresión paralela al grano del nogal en estado seco al horno.**

**e. Ensayo de resistencia a la compresión perpendicular.**

En el cuadro 30 y 31 podemos observar que los valores más altos se registran para las tres especies platuquero, yagual y nogal en estado seco al horno 149.20, 155.04, 176,58 kg/cm<sup>2</sup> y los valores mas bajos en estado verde 105.82, 127.94, 98.92 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Las maderas del platuquero y del yagual presentan una clasificación media en estado verde y moderadamente baja el nogal, en cuanto se refiere a los estados de la madera seca al aire y seca al horno las tres especies presentan una clasificación moderadamente alta. Jaramillo F., Ontaneda G. (1989) en un estudio realizado sobre características tecnológicas, trabajabilidad y uso de especies forestales indican que en la practica es

una propiedad que debe ser considerada como importante ya que una buena resistencia a la compresión, es necesaria para cimientos y soportes en construcción.

**Cuadro N° 30. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano**

<b>Especies (código)</b>	<b>Estados (V/Sa/Sh)</b>	<b>Pmx kg</b>	<b>Ax cm<sup>2</sup></b>	<b>Lx mm</b>	<b>εmx mm/mm x 10<sup>-3</sup></b>
P (7)	V	2598,90	24,56	152,00	28,16
	Sa	3546,20	24,58	150,00	39,20
	Sh	3664,30	24,56	149,20	36,87
Y (7)	V	3170,27	24,78	151,00	85,23
	Sa	3610,00	24,00	149,47	60,88
	Sh	3714,80	23,96	149	63,69
N (7)	V	2443,30	24,70	152	49,67
	Sa	4071,30	24,50	149,5	80,67
	Sh	4326,20	24,50	149,5	90,5

(7): Prueba: Resistencia a la compresión perpendicular al grano.

Pmx: Carga máxima promedio

Ax: Área resistente promedio

Lx: Longitud promedio de la probeta.

σx: Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura

εmx: Deformación máxima promedio

**Cuadro N° 31. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano.**

<b>Prueba /estados</b>	<b>ESPECIES /CÓDIGO</b>		
	<b>P</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>
V (7)	105,82 Mediano	127,94 Mediano	98,92 Mod. Bajo
Sa (7)	144,27 Mod. Alto	150,42 Mod alto	166,18 Mod. Alto
Sh (7)	149,2 Mod.Alto	155,04 Mod alto	176,58 Mod alto

(7): Prueba de compresión perpendicular al grano

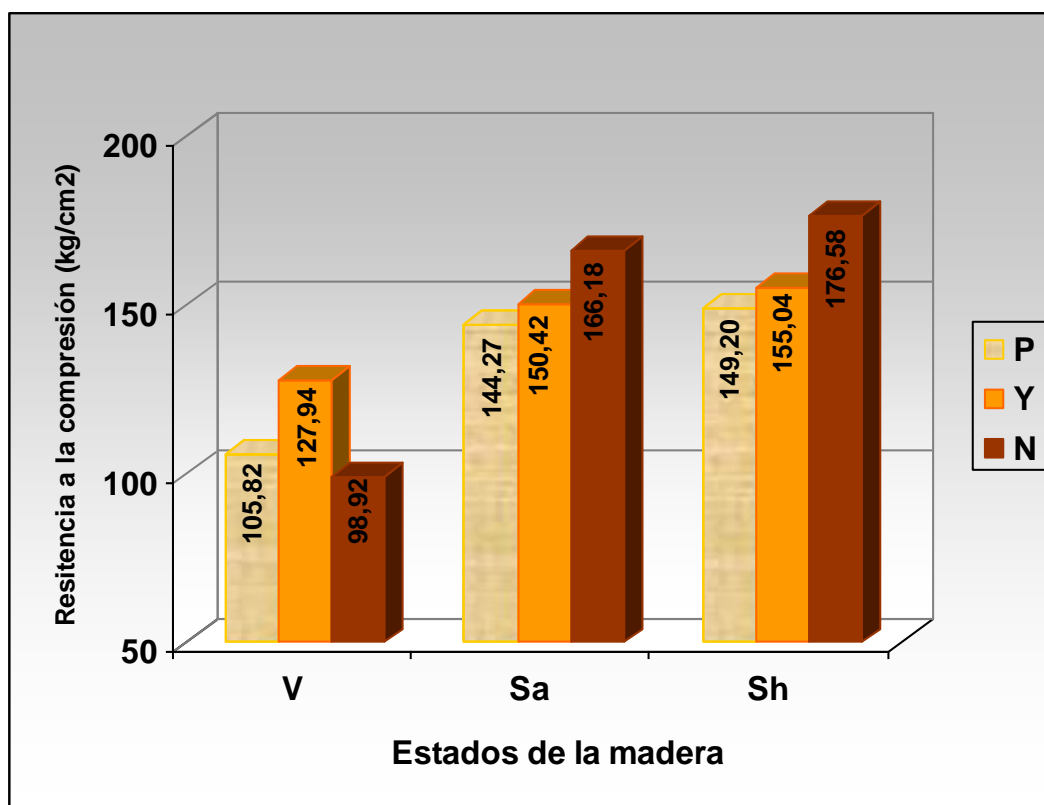
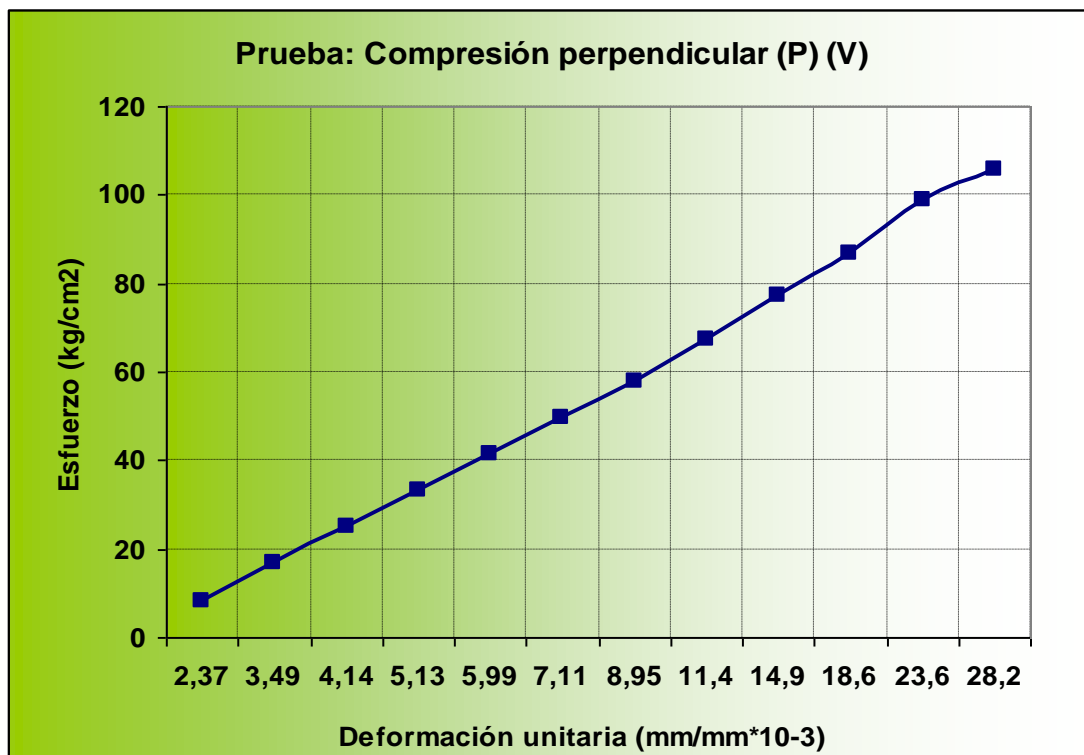


Gráfico N° 23. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero, yagual y nogal en estados: verde, seco al aire y seco al horno.

Cuadro N° 32. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del platuquero, en estado verde.

ESTADO Verde	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	36,00	24,56	152,00	8,34	2,37
	400	408,3	53,00	24,56	152,00	16,62	3,49
	600	611,8	63,00	24,56	152,00	24,91	4,14
	800	815,3	78,00	24,56	152,00	33,20	5,13
	1000	1019	91,00	24,56	152,00	41,48	5,99
	1200	1222,3	108,00	24,56	152,00	49,77	7,11
	1400	1425,8	136,00	24,56	152,00	58,05	8,95
	1600	1629,3	173,00	24,56	152,00	66,34	11,38
	1800	1832,8	226,00	24,56	152,00	74,63	14,87
	2000	2036	283,00	24,56	152,00	82,91	18,62
	2200	2239,8	358,00	24,56	152,00	91,20	23,55
	2400	2598,9	428,00	24,56	152,00	105,82	28,16

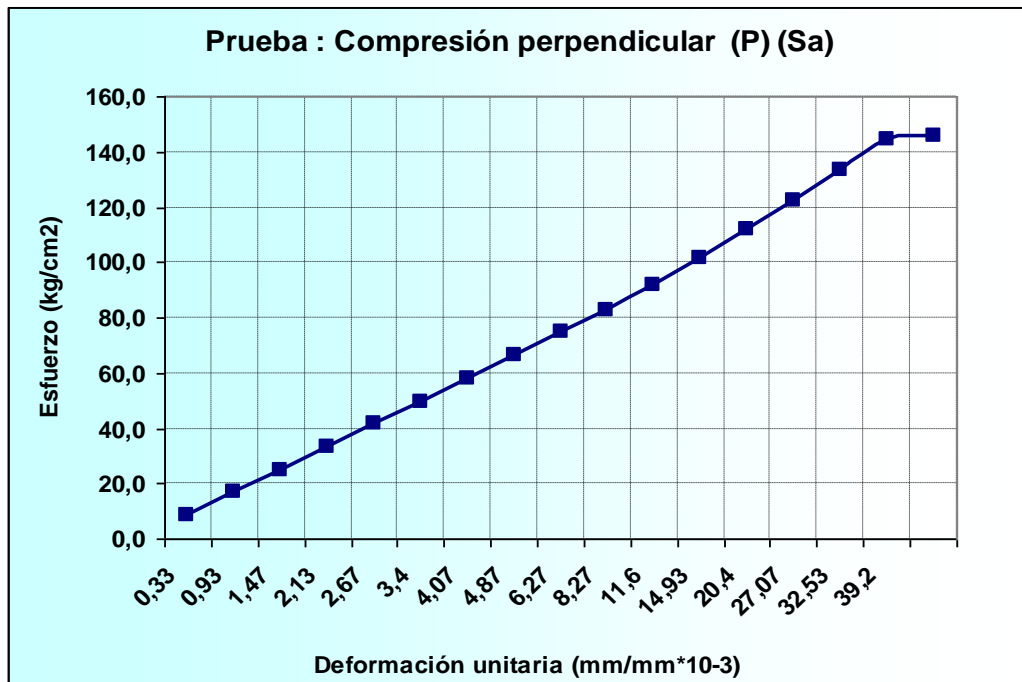


**Gráfico N° 24** Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado verde.

**Cuadro N° 33.** Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del platuquero, en estado seco al aire.

ESTADO Sa	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	5,00	24,58	151,00	8,33	0,33
	400	408,3	14,00	24,58	151,00	16,61	0,93
	600	611,8	22,00	24,58	150,00	24,89	1,47
	800	815,3	32,00	24,58	150,00	33,17	2,13
	1000	1018,8	40,00	24,58	150,00	41,45	2,67
	1200	1222,3	51,00	24,58	150,00	49,73	3,40
	1400	1425,8	61,00	24,58	150,00	58,01	4,07
	1600	1629,3	73,00	24,58	150,00	66,29	4,87
	1800	1832,8	94,00	24,58	150,00	74,56	6,27
	2000	2036,3	124,00	24,58	150,00	82,84	8,27
	2200	2239,8	174,00	24,58	150,00	91,12	11,60
	2400	2443,3	224,00	24,58	150,00	99,40	14,93
	2600	2646,8	306,00	24,58	150,00	107,68	20,40
	2800	2850,3	406,00	24,58	150,00	115,96	27,07
	3000	3198,3	488,00	24,58	150,00	130,12	32,53
	3200	3546,2	588,00	24,58	150,00	144,27	39,20

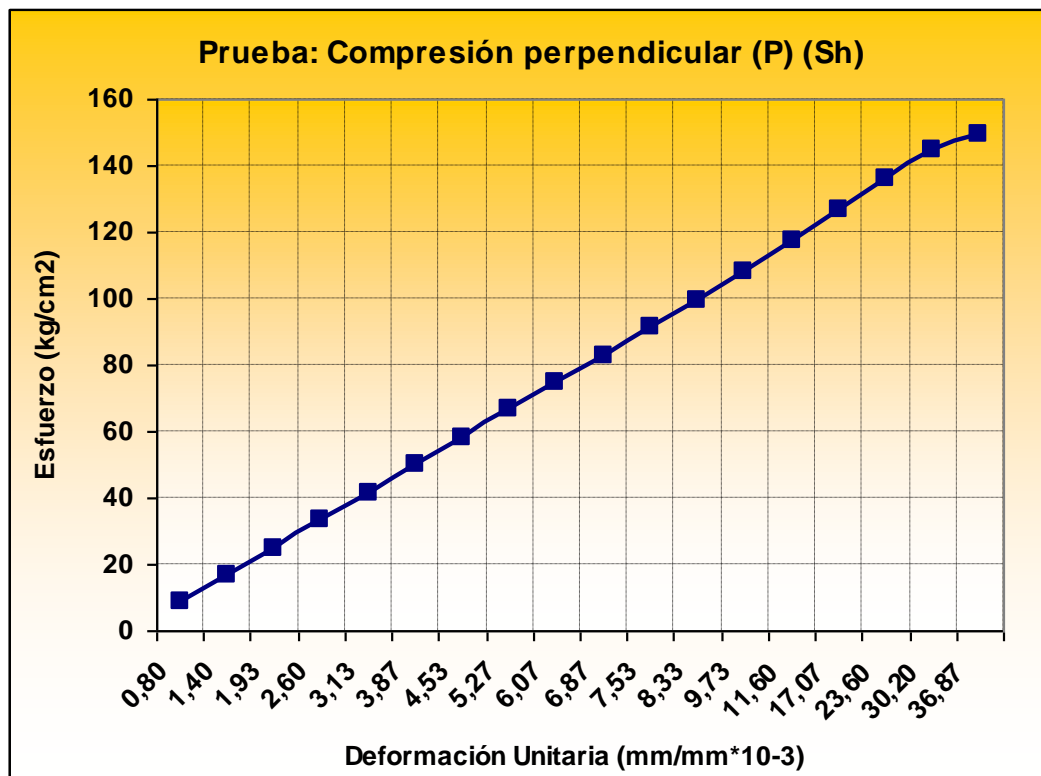




**Gráfico N° 25. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado seco al aire.**

**Cuadro N° 34. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del platuquero, en estado seco al horno.**

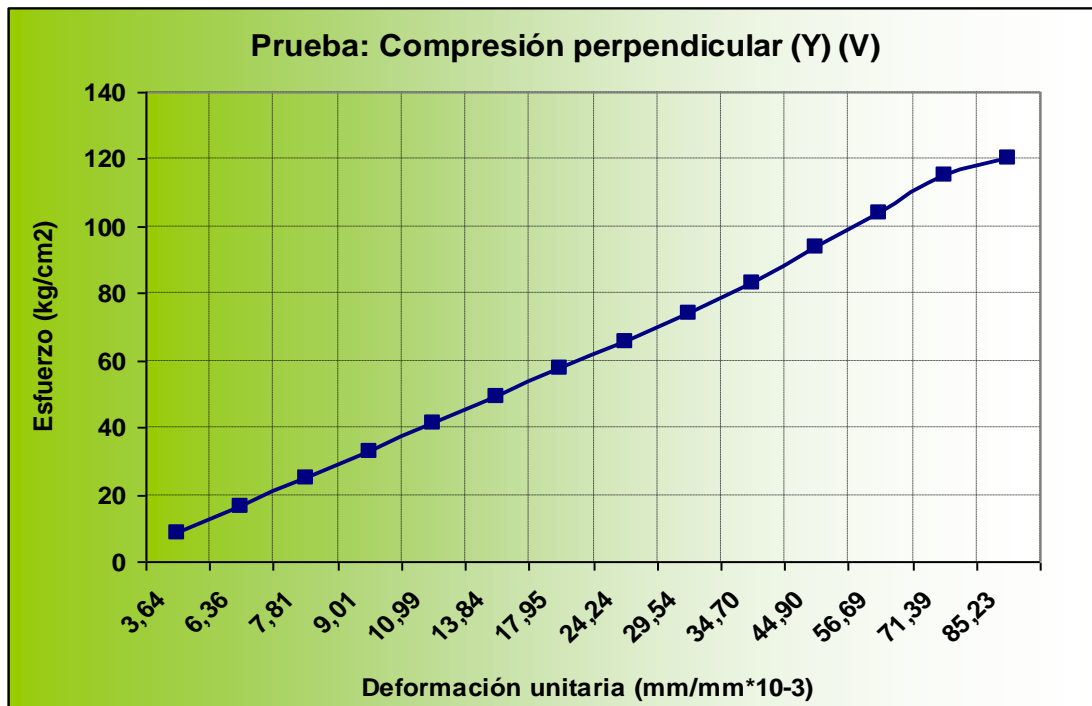
ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	12,00	24,56	150,00	8,34	0,80
	400	408,3	21,00	24,56	150,00	16,62	1,40
	600	611,8	29,00	24,56	150,00	24,91	1,93
	800	815,3	39,00	24,56	150,00	33,20	2,60
	1000	1018,8	47,00	24,56	150,00	41,48	3,13
	1200	1222,3	58,00	24,56	150,00	49,77	3,87
	1400	1425,8	68,00	24,56	150,00	58,05	4,53
	1600	1629,3	79,00	24,56	150,00	66,34	5,27
	1800	1832,8	91,00	24,56	150,00	74,63	6,07
	2000	2036,3	103,00	24,56	150,00	82,91	6,87
	2200	2239,8	113,00	24,56	150,00	91,20	7,53
	2400	2443,3	125,00	24,56	150,00	99,48	8,33
	2600	2646,8	146,00	24,56	150,00	107,77	9,73
	2800	2850,3	174,00	24,56	150,00	116,05	11,60
	3000	3053,8	256,00	24,56	150,00	124,34	17,07
	3200	3257,3	354,00	24,56	150,00	132,63	23,60
	3400	3460,8	453,00	24,56	150,00	140,91	30,20
	3600	3664,3	553,00	24,56	150,00	149,20	36,87



**Gráfico N° 26. Prueba de compresión perpendicular al grano del platuquero en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 35. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del yagual, en estado verde.**

ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	55,00	24,99	151,00	8,20	3,64
	400	408,3	96,00	24,99	151,00	16,34	6,36
	600	611,8	118,00	24,78	151,00	24,69	7,81
	800	815,3	136,00	24,78	151,00	32,90	9,01
	1000	1019	166,00	24,78	151,00	41,11	10,99
	1200	1222,3	209,00	24,78	151,00	49,33	13,84
	1400	1425,8	271,00	24,78	151,00	57,54	17,95
	1600	1629,3	366,00	24,78	151,00	65,75	24,24
	1800	1832,8	446,00	24,78	151,00	73,96	29,54
	2000	2036	524,00	24,78	151,00	82,18	34,70
	2200	2239,8	678,00	24,78	151,00	90,39	44,90
	2400	2443,3	856,00	24,78	151,00	98,60	56,69
	2600	2650,16	1078,00	24,78	151,00	106,95	71,39
	2800	3170,27	1287,00	24,78	151,00	127,94	85,23



**Gráfico N° 27 .Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado verde.**

**Cuadro N° 36. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del yagual, en estado seco al aire.**

ESTADO Sa	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	46,00	24,00	149,47	8,53	3,08
	400	408,3	88,00	24,00	149,47	17,01	5,89
	600	611,8	126,00	24,00	149,47	25,49	8,43
	800	815,3	176,00	24,00	149,47	33,97	11,77
	1000	1018,8	216,00	24,00	149,47	42,45	14,45
	1200	1222,3	266,00	24,00	149,47	50,93	17,80
	1400	1425,8	308,00	24,00	149,47	59,41	20,61
	1600	1629,3	348,00	24,00	149,47	67,89	23,28
	1800	1832,8	388,00	24,00	149,47	76,37	25,96
	2000	2036,3	431,00	24,00	149,47	84,85	28,84
	2200	2239,8	466,00	24,00	149,47	93,33	31,18
	2400	2443,3	518,00	24,00	149,47	101,80	34,66
	2600	2646,8	578,00	24,00	149,47	110,28	38,67
	2800	2850,3	618,00	24,00	149,47	118,76	41,35
	3000	3053,8	674,00	24,00	149,47	127,24	45,09
	3200	3257,3	732,00	24,00	149,47	135,72	48,97
	3400	3460,8	786,00	24,00	149,47	144,20	52,59
	3600	3664,3	853,00	24,00	149,47	152,68	57,07
	3600	3610	910,00	24,00	149,47	150,42	60,88

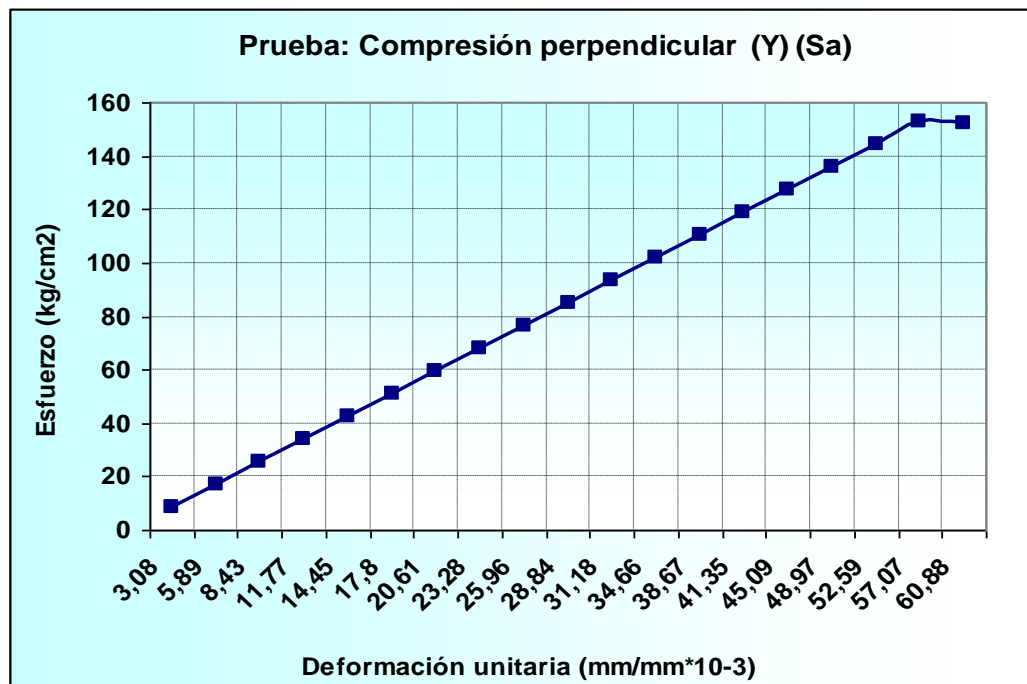
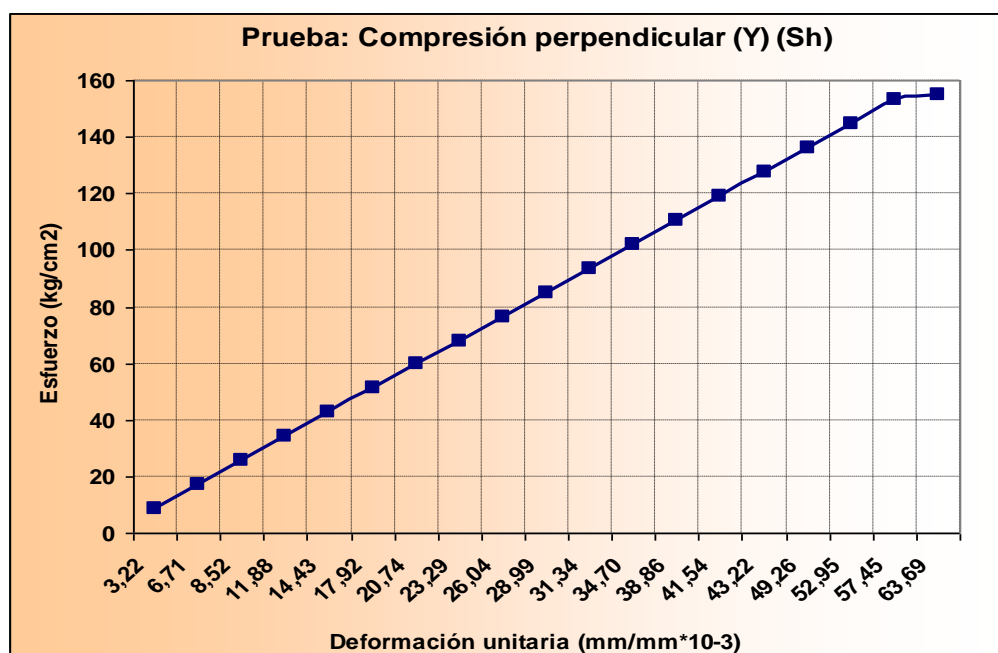


Gráfico N° 28. Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado seco al aire.

Cuadro N° 37. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del yagual, en estado seco al horno.

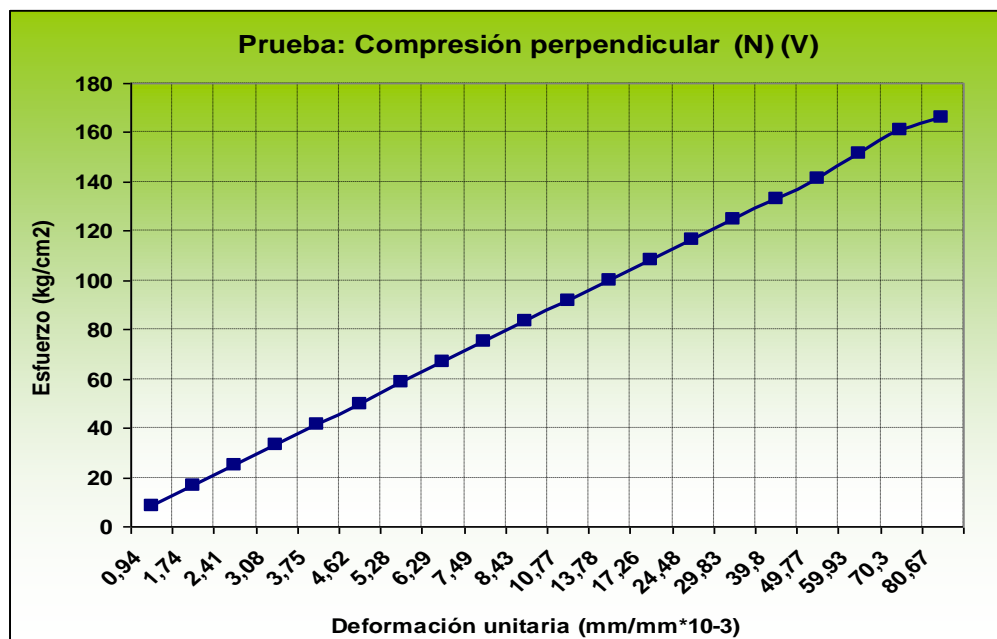
ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	48,00	23,96	149,00	8,55	3,22
	400	408,3	100,00	23,96	149,00	17,04	6,71
	600	611,8	127,00	23,96	149,00	25,53	8,52
	800	815,3	177,00	23,96	149,00	34,03	11,88
	1000	1018,8	215,00	23,96	149,00	42,52	14,43
	1200	1222,3	267,00	23,96	149,00	51,01	17,92
	1400	1425,8	309,00	23,96	149,00	59,51	20,74
	1600	1629,3	347,00	23,96	149,00	68,00	23,29
	1800	1832,8	388,00	23,96	149,00	76,49	26,04
	2000	2036,3	432,00	23,96	149,00	84,99	28,99
	2200	2239,8	467,00	23,96	149,00	93,48	31,34
	2400	2443,3	517,00	23,96	149,00	101,97	34,70
	2600	2646,8	579,00	23,96	149,00	110,47	38,86
	2800	2850,3	619,00	23,96	149,00	118,96	41,54
	3000	3053,8	644,00	23,96	149,00	127,45	43,22
	3200	3257,3	734,00	23,96	149,00	135,95	49,26
	3400	3460,8	789,00	23,96	149,00	144,44	52,95
	3600	3664,3	856,00	23,96	149,00	152,93	57,45
	3600	3714,8	949,00	23,96	149,00	155,04	63,69



**Gráfico N° 29. Prueba de compresión perpendicular al grano del yagual en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 38. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del nogal, en estado verde.**

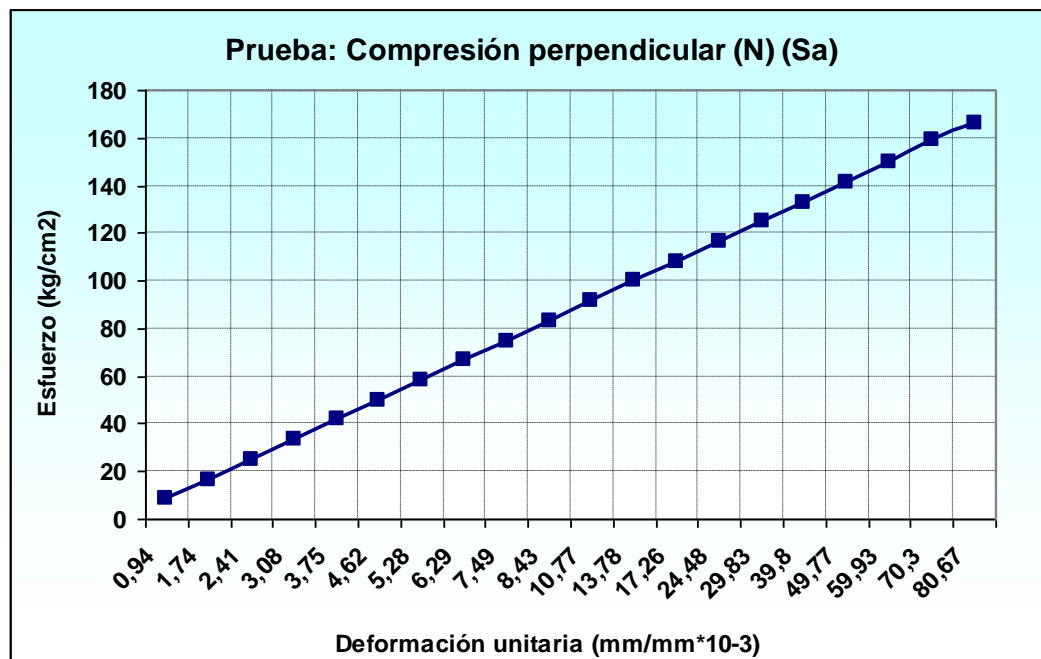
ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	204,8	14,00	24,50	149,50	8,36	0,94
400	408,3	408,3	26,00	24,50	149,50	16,67	1,74
600	611,8	611,8	36,00	24,50	149,50	24,97	2,41
800	815,3	815,3	46,00	24,50	149,50	33,28	3,08
1000	1018,8	1018,8	56,00	24,50	149,50	41,58	3,75
1200	1222,3	1222,3	69,00	24,50	149,50	49,89	4,62
1400	1425,8	1425,8	79,00	24,50	149,50	58,20	5,28
1600	1629,3	1629,3	94,00	24,50	149,50	66,50	6,29
1800	1832,8	1832,8	112,00	24,50	149,50	74,81	7,49
2000	2036,3	2036,3	126,00	24,50	149,50	83,11	8,43
2200	2239,8	2239,8	161,00	24,50	149,50	91,42	10,77
2400	2443,3	2443,3	206,00	24,50	149,50	99,73	13,78
2600	2646,8	2646,8	258,00	24,50	149,50	108,03	17,26
2800	2850,3	2850,3	366,00	24,50	149,50	116,34	24,48
3000	3053,8	3053,8	446,00	24,50	149,50	124,64	29,83
3200	3257,3	3257,3	595,00	24,50	149,50	132,95	39,80
3400	3460,8	3460,8	744,00	24,50	149,50	141,26	49,77
3600	3664,3	3664,3	896,00	24,50	149,50	149,56	59,93
3800	3867,8	3867,8	1051,00	24,50	149,50	157,87	70,30
4000	4071,3	4071,3	1206,00	24,50	149,50	166,18	80,67



**Gráfico N° 30. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado verde.**

**Cuadro N° 39. Prueba de resistencia a la compresión perpendicular al grano del nogal, en estado seco al aire.**

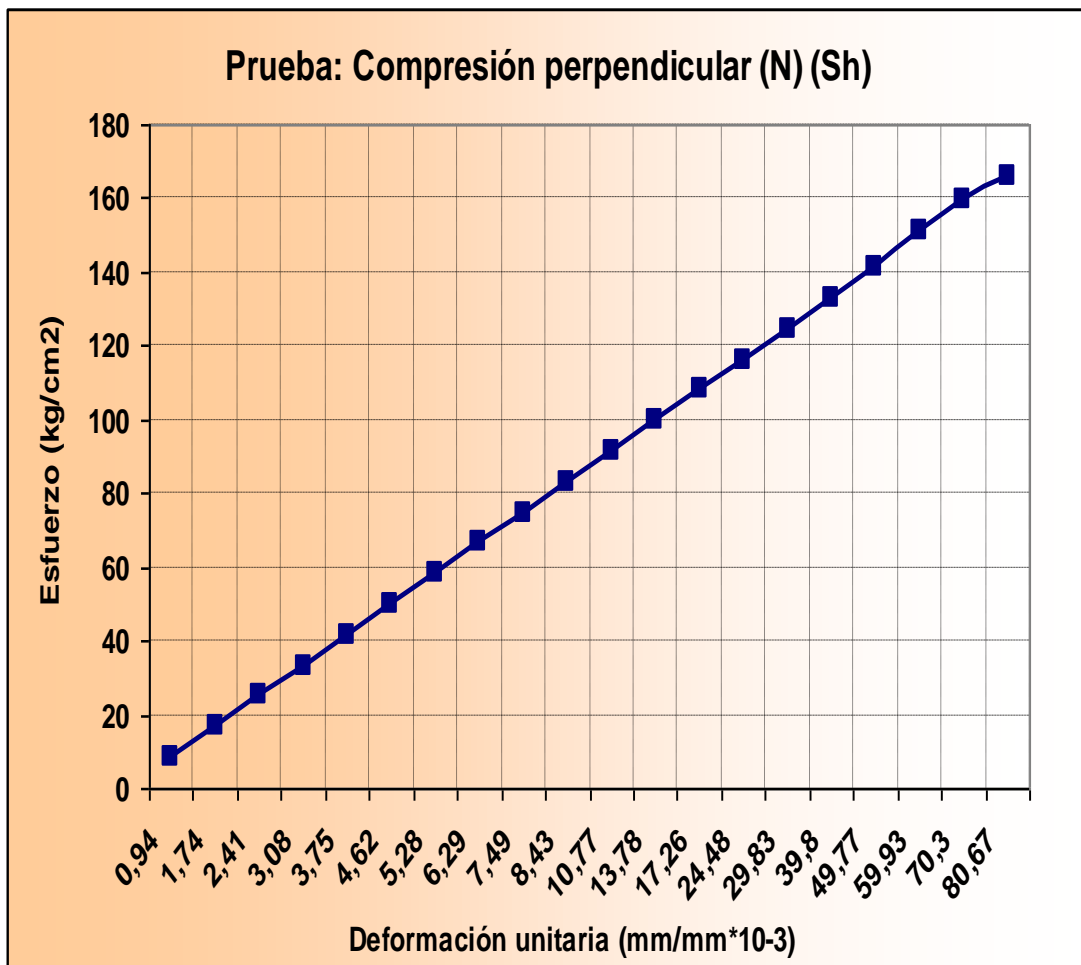
ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
200	204,8	14,00	24,50	149,50	8,36	0,94	
400	408,3	26,00	24,50	149,50	16,67	1,74	
600	611,8	36,00	24,50	149,50	24,97	2,41	
800	815,3	46,00	24,50	149,50	33,28	3,08	
1000	1018,8	56,00	24,50	149,50	41,58	3,75	
1200	1222,3	69,00	24,50	149,50	49,89	4,62	
1400	1425,8	79,00	24,50	149,50	58,20	5,28	
1600	1629,3	94,00	24,50	149,50	66,50	6,29	
1800	1832,8	112,00	24,50	149,50	74,81	7,49	
2000	2036,3	126,00	24,50	149,50	83,11	8,43	
2200	2239,8	161,00	24,50	149,50	91,42	10,77	
2400	2443,3	206,00	24,50	149,50	99,73	13,78	
2600	2646,8	258,00	24,50	149,50	108,03	17,26	
2800	2850,3	366,00	24,50	149,50	116,34	24,48	
3000	3053,8	446,00	24,50	149,50	124,64	29,83	
3200	3257,3	595,00	24,50	149,50	132,95	39,80	
3400	3460,8	744,00	24,50	149,50	141,26	49,77	
3600	3664,3	896,00	24,50	149,50	149,56	59,93	
3800	3867,8	1051,00	24,50	149,50	157,87	70,30	
4000	4071,3	1206,00	24,50	149,50	166,18	80,67	



**Gráfico N° 31. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado seco al aire.**

**Cuadro N° 40. Prueba de resistencia a la compresión paralela al grano del nogal, en estado seco al horno.**

ESTADO Sh	P kg	Pcorr. kg	$\delta$ mm x 10-2	A cm <sup>2</sup>	L mm	$\sigma$ Kg/cm <sup>2</sup>	E mm/mmE-3
	200	204,8	14,00	24,50	149,50	8,36	0,94
	400	408,3	26,00	24,50	149,50	16,67	1,74
	600	611,8	36,00	24,50	149,50	24,97	2,41
	800	815,3	46,00	24,50	149,50	33,28	3,08
	1000	1018,8	56,00	24,50	149,50	41,58	3,75
	1200	1222,3	69,00	24,50	149,50	49,89	4,62
	1400	1425,8	79,00	24,50	149,50	58,20	5,28
	1600	1629,3	94,00	24,50	149,50	66,50	6,29
	1800	1832,8	112,00	24,50	149,50	74,81	7,49
	2000	2036,3	126,00	24,50	149,50	83,11	8,43
	2200	2239,8	161,00	24,50	149,50	91,42	10,77
	2400	2443,3	206,00	24,50	149,50	99,73	13,78
	2600	2646,8	258,00	24,50	149,50	108,03	17,26
	2800	2850,3	366,00	24,50	149,50	116,34	24,48
	3000	3053,8	446,00	24,50	149,50	124,64	29,83
	3200	3257,3	595,00	24,50	149,50	132,95	39,80
	3400	3460,8	744,00	24,50	149,50	141,26	49,77
	3600	3664,3	896,00	24,50	149,50	149,56	59,93
	3800	3867,8	1051,00	24,50	149,50	157,87	70,30
	4000	4071,3	1206,00	24,50	149,50	166,18	80,67



**Gráfico N° 32. Prueba de compresión perpendicular al grano del nogal en estado seco al horno.**

**f. Ensayo de resistencia a la tracción.**

En el cuadro 42 se puede observar que la mayor resistencia a la prueba de tracción presenta el nogal en los dos tipos de estado de la madera seca al aire y seca al horno 444,53 y 464,60 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y presentando la resistencia más baja el platuquero seca al aire 260.05 kg/cm<sup>2</sup> y seca al horno 290.98 kg/cm<sup>2</sup>. Por lo que cabe señalar que el nogal puede ser utilizado en aplicaciones donde las cargas sean principalmente de tracción.



**Cuadro N° 41. Prueba de resistencia a la tracción.**

<b>Especies (código)</b>	<b>Estados (V/Sa/Sh)</b>	<b>Pmx kg</b>	<b>Ax cm<sup>2</sup></b>	<b>Lx mm</b>	<b>εmx mm/mm×10<sup>-3</sup></b>
P (8)	V	516,50	2,52	204,96	2,40
	Sa	650,12	2,50	260,05	3,30
	Sh	698,36	2,4	290,98	5,60
Y (8)	V	568,15	2,55	228,80	1,00
	Sa	758,14	2,48	305,70	1,40
	Sh	796,98	2,41	330,7	2,00
N (8)	V	413,20	2,54	162,68	5,58
	Sa	1084,65	2,44	444,53	4,10
	Sh	1152,20	2,48	464,6	5,40

(8): Prueba: Resistencia a la tracción.

Pmx: Carga máxima promedio

Ax: Área resistente promedio

Lx: Longitud promedio de la probeta.

σx: Esfuerzo unitario o resistencia a la ruptura

εmx: Deformación máxima promedio

**Cuadro N° 42. Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la tracción.**

<b>Prueba /estados</b>	<b>ESPECIES /CÓDIGO</b>		
	<b>P</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>
V (8)	204,96	228,80	162,68
Sa (8)	260,05	305,70	444,53
Sh (8)	290,98	330,70	464,60

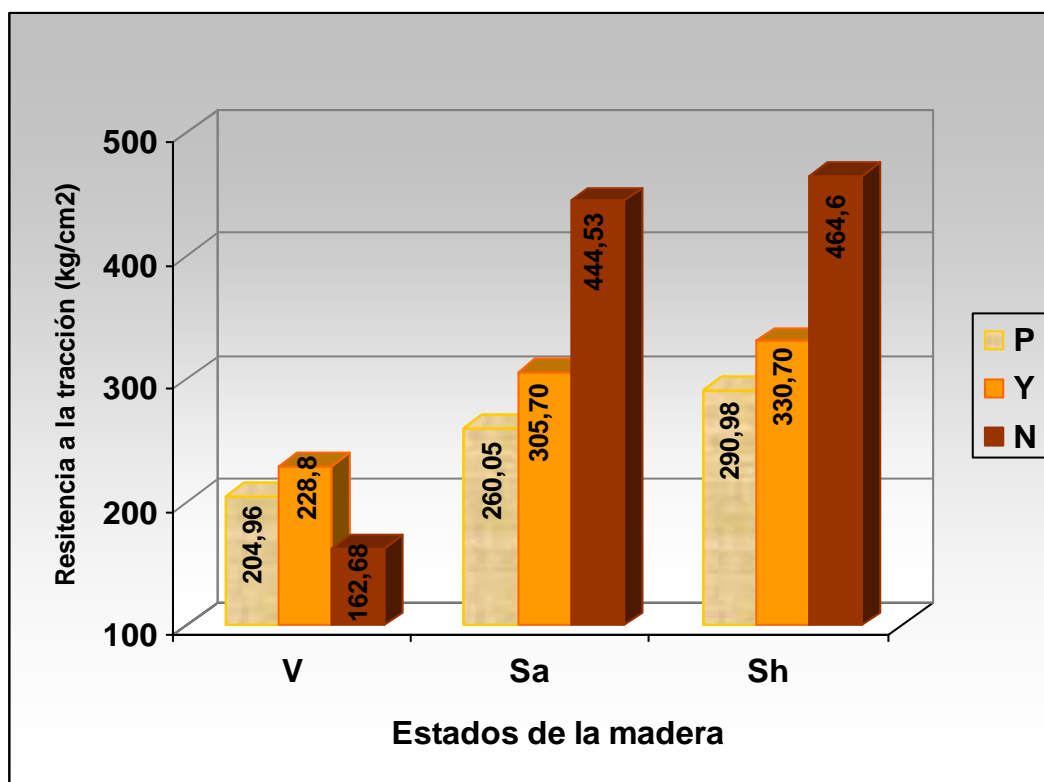


Gráfico N° 33. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, yagual y nogal en tres estados: verde, seco al aire y seco al horno.

Cuadro 43. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado verde.

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sh	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	4,50	2,52	199	20,50	0,2
	100	103,30	8,30	2,52	199	40,99	0,4
	150	154,95	11,24	2,52	199	61,49	0,6
	200	206,60	17,00	2,52	199	81,98	0,9
	250	258,25	21,00	2,52	199	102,48	1,1
	300	309,90	26,00	2,52	199	122,98	1,3
	350	361,55	30,00	2,52	199	143,47	1,5
	400	413,20	35,00	2,52	199	163,97	1,8
	450	464,85	42,00	2,52	199	184,46	2,1
	500	516,50	48,00	2,52	199	204,96	2,4

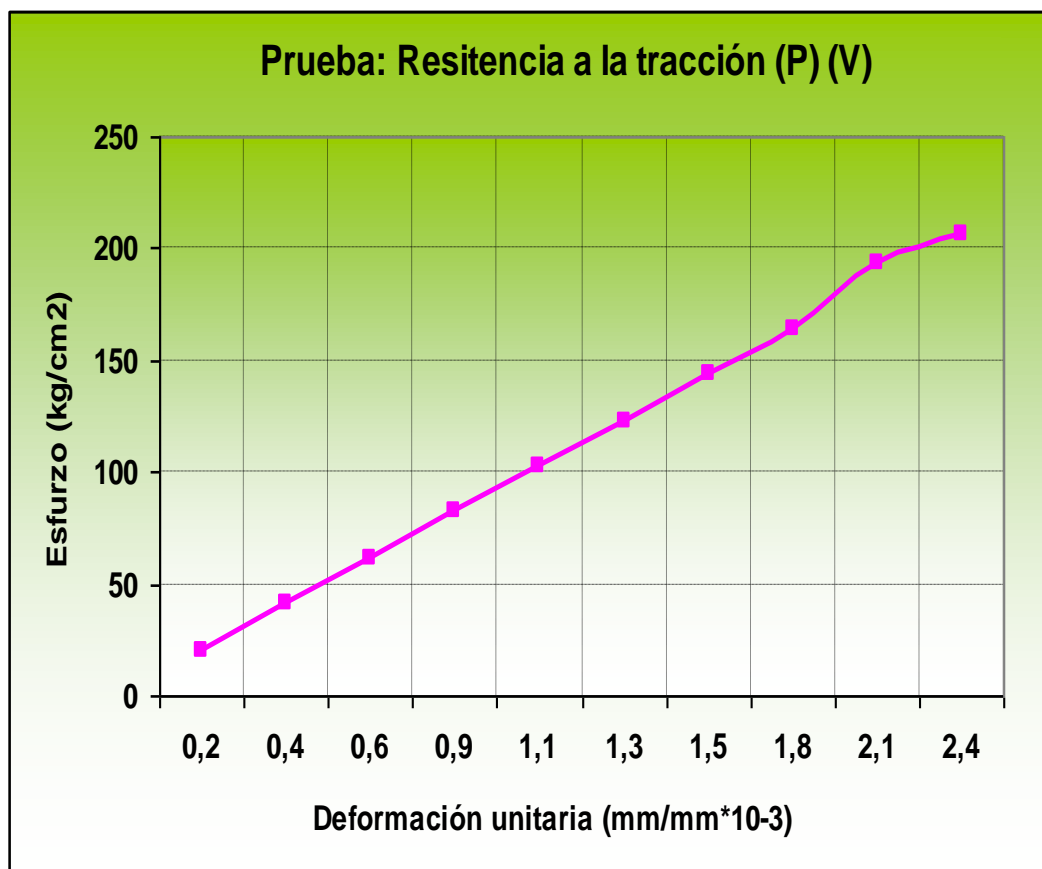
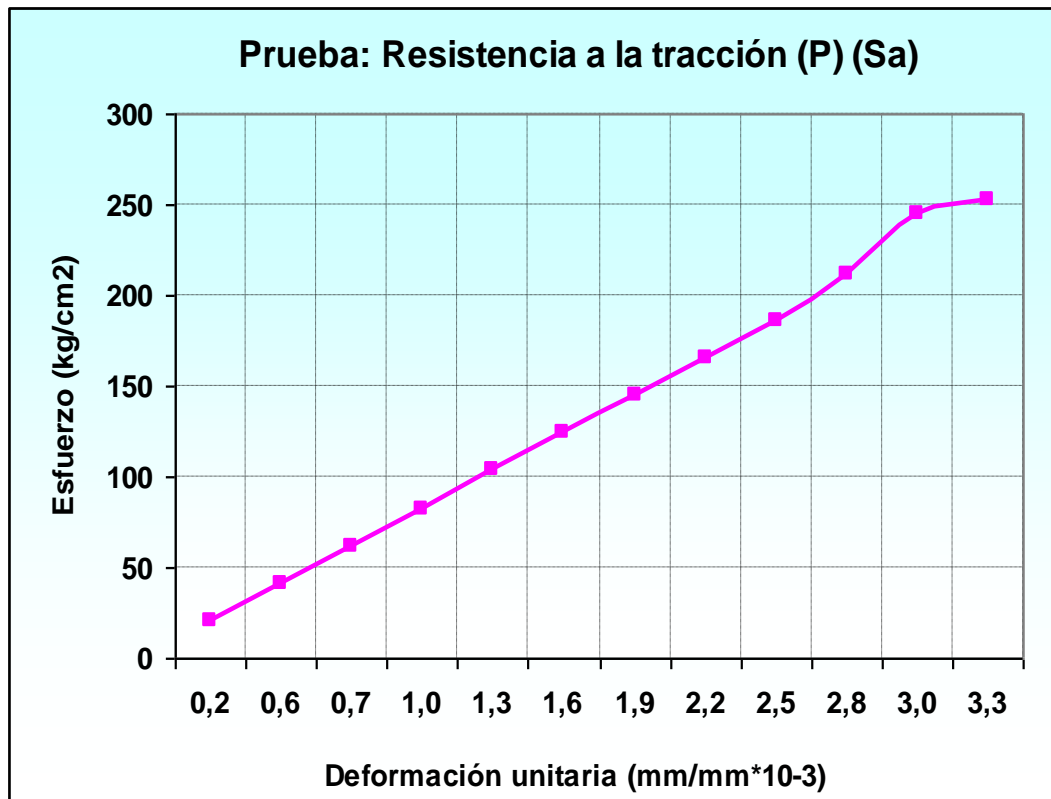


Gráfico N° 34. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado verde.

Cuadro N° 44. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado seco al aire.

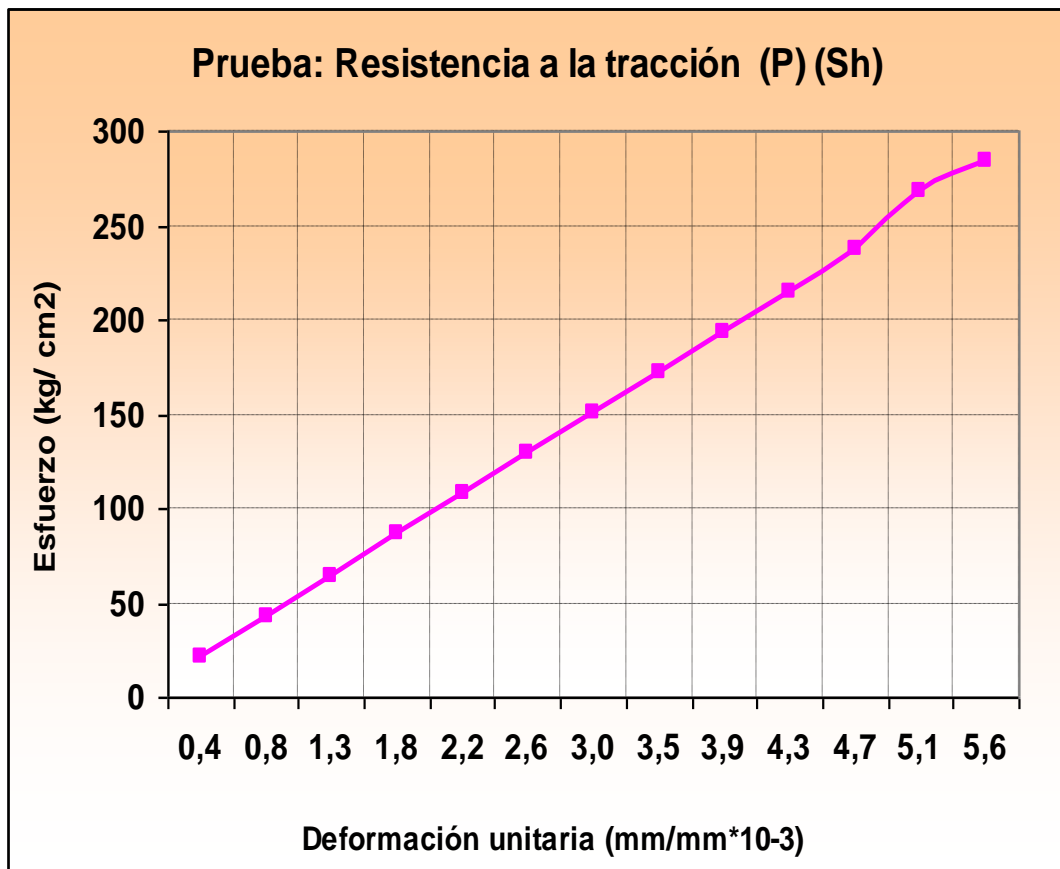
ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sh	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	3,00	2,50	198	20,66	0,2
	100	103,30	11,00	2,50	198	41,32	0,6
	150	154,95	14,00	2,50	198	61,98	0,7
	200	206,60	19,00	2,50	198	82,64	1,0
	250	258,25	25,00	2,50	198	103,30	1,3
	300	309,90	31,00	2,50	198	123,96	1,6
	350	361,55	37,00	2,50	198	144,62	1,9
	400	413,20	43,00	2,50	198	165,28	2,2
	450	464,85	49,00	2,50	198	185,94	2,5
	500	516,50	55,00	2,50	198	206,60	2,8
	550	568,15	60,00	2,50	198	227,26	3,0
	600	650,12	66,00	2,50	198	260,05	3,3



**Gráfico N° 35. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado seco al aire**

**Cuadro N° 45. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero, en estado seco al horno.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sh	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	7,00	2,40	198,5	21,52	0,4
	100	103,30	16,00	2,40	198,5	43,04	0,8
	150	154,95	26,00	2,40	198,5	64,56	1,3
	200	206,60	35,00	2,40	198,5	86,08	1,8
	250	258,25	43,00	2,40	198,5	107,60	2,2
	300	309,90	51,00	2,40	198,5	129,13	2,6
	350	361,55	60,00	2,40	198,5	150,65	3,0
	400	413,20	69,00	2,40	198,5	172,17	3,5
	450	464,85	77,00	2,40	198,5	193,69	3,9
	500	516,50	85,00	2,40	198,5	215,21	4,3
	550	568,15	94,00	2,40	198,5	236,73	4,7
	600	619,80	102,00	2,40	198,5	258,25	5,1
	650	698,36	111,00	2,40	198,5	290,98	5,6



**Gráfico N° 36. Prueba de resistencia a la tracción del platuquero en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 46. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado verde.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Verde	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	1,60	2,55	199,00	20,25	0,08
	100	103,30	3,30	2,55	199,00	40,51	0,17
	150	154,95	4,90	2,55	199,00	60,76	0,25
	200	206,60	6,40	2,55	199,00	81,02	0,3
	250	258,25	8,00	2,55	199,00	101,27	0,4
	300	309,90	9,60	2,55	199,00	121,53	0,5
	350	361,55	11,00	2,55	199,00	141,78	0,6
	400	413,20	13,00	2,55	199,00	162,04	0,7
	450	464,85	15,00	2,55	199,00	182,29	0,8
	500	516,50	17,00	2,55	199,00	202,55	0,9
	550	568,15	20,00	2,55	199,00	222,80	1,0

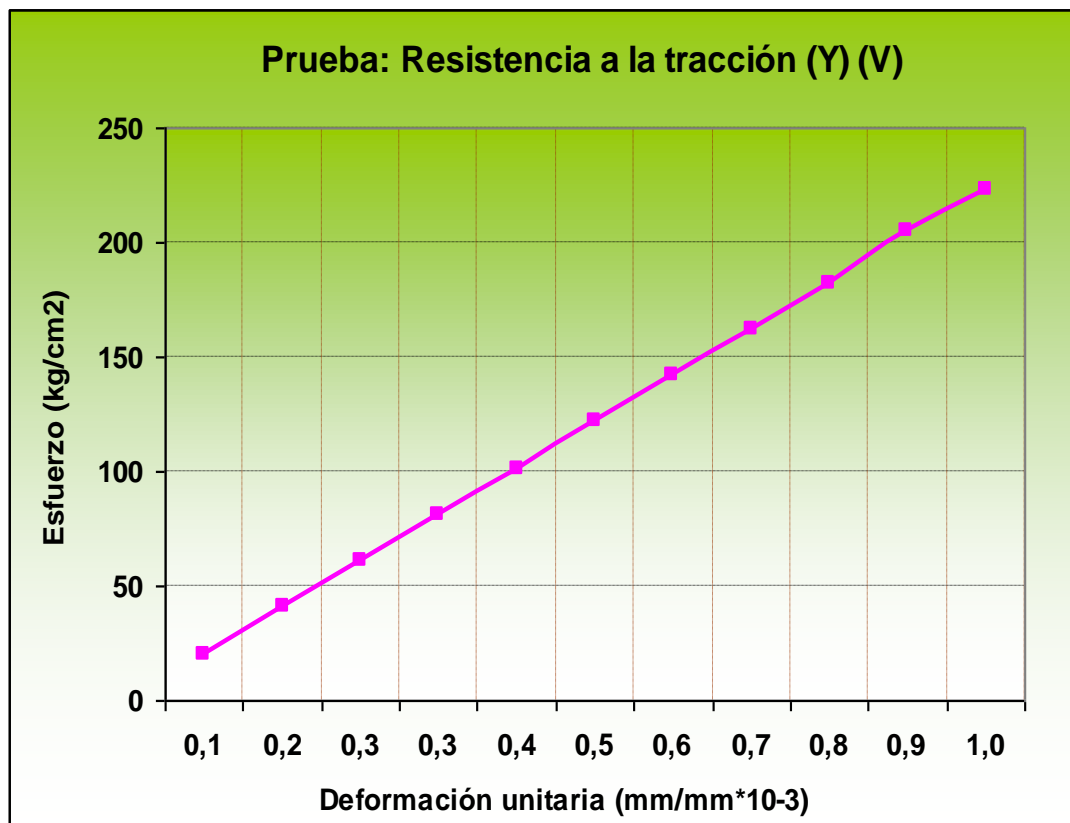


Gráfico N° 37. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado verde.

Cuadro N° 47. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado seco al aire.

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sa	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	m/mmE-3
	50	51,65	1,60	2,48	197,00	20,83	0,1
	100	103,3	3,60	2,48	197,00	41,65	0,2
	150	154,95	5,30	2,48	197,00	62,48	0,3
	200	206,6	6,90	2,48	197,00	83,31	0,4
	250	258,25	9,30	2,48	197,00	104,13	0,5
	300	309,9	11,20	2,48	197,00	124,96	0,6
	350	361,55	13,10	2,48	197,00	145,79	0,7
	400	413,2	14,80	2,48	197,00	166,61	0,8
	450	464,85	16,80	2,48	197,00	187,44	0,9
	500	516,5	18,60	2,48	197,00	208,27	0,9
	550	568,15	20,30	2,48	197,00	229,09	1,0
	600	619,8	22,30	2,48	197,00	249,92	1,1
	650	671,45	24,60	2,48	197,00	270,75	1,2
	700	758,14	27,00	2,48	197,00	305,70	1,4

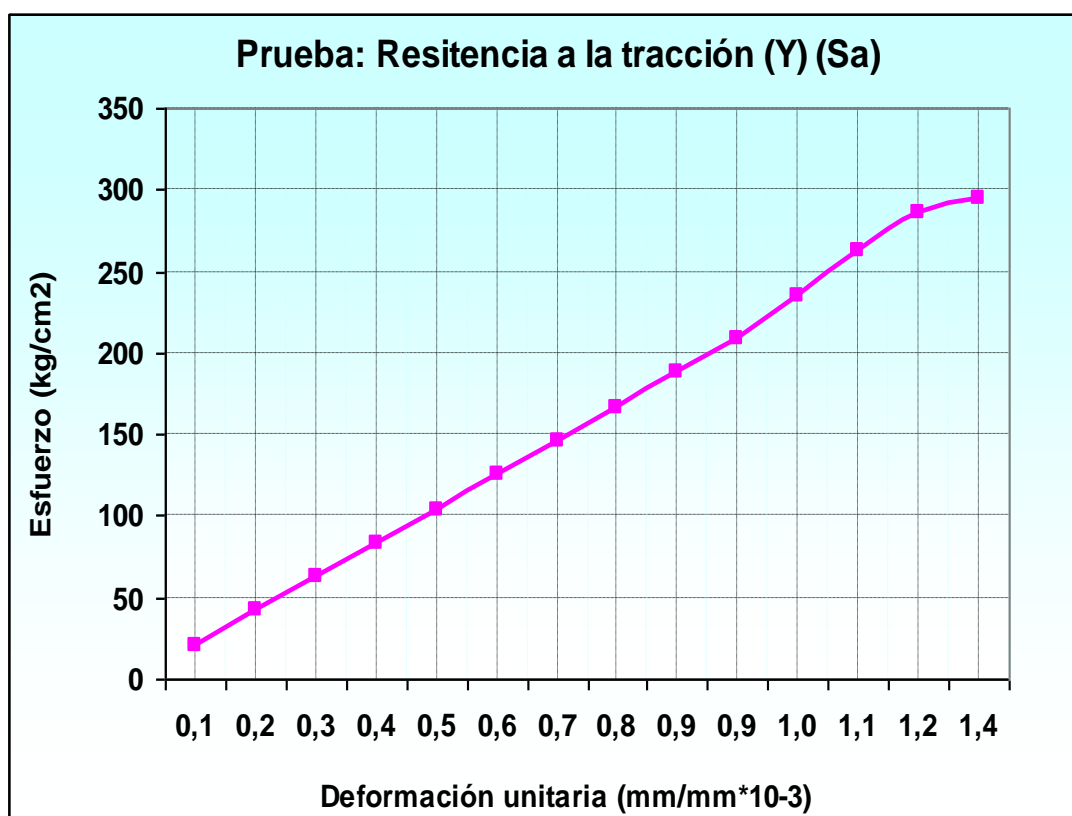
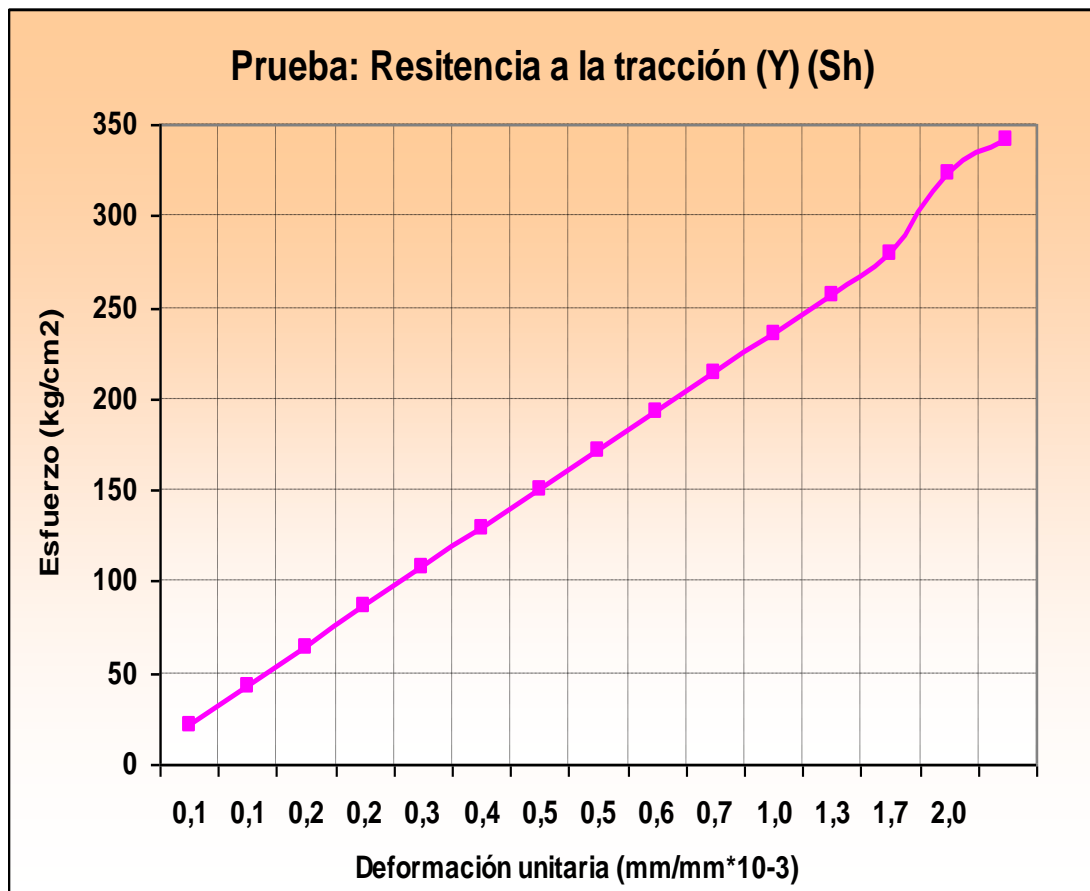


Gráfico N° 38. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado seco al aire

Cuadro N° 48. Prueba de resistencia a la tracción del yagual, en estado seco al horno.

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sh	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	1,10	2,41	199,00	21,43	0,1
	100	103,3	2,10	2,41	199,00	42,86	0,1
	150	154,95	3,30	2,41	199,00	64,29	0,2
	200	206,6	4,80	2,41	199,00	85,73	0,2
	250	258,25	6,20	2,41	199,00	107,16	0,3
	300	309,9	7,70	2,41	199,00	128,59	0,4
	350	361,55	9,10	2,41	199,00	150,02	0,5
	400	413,2	10,70	2,41	199,00	171,45	0,5
	450	464,85	12,70	2,41	199,00	192,88	0,6
	500	516,5	13,20	2,41	199,00	214,32	0,7
	550	568,15	19,90	2,41	199,00	235,75	1,0
	600	619,8	26,60	2,41	199,00	257,18	1,3
	650	671,45	33,30	2,41	199,00	278,61	1,7
	700	796,98	40,00	2,41	199,00	330,70	2,0

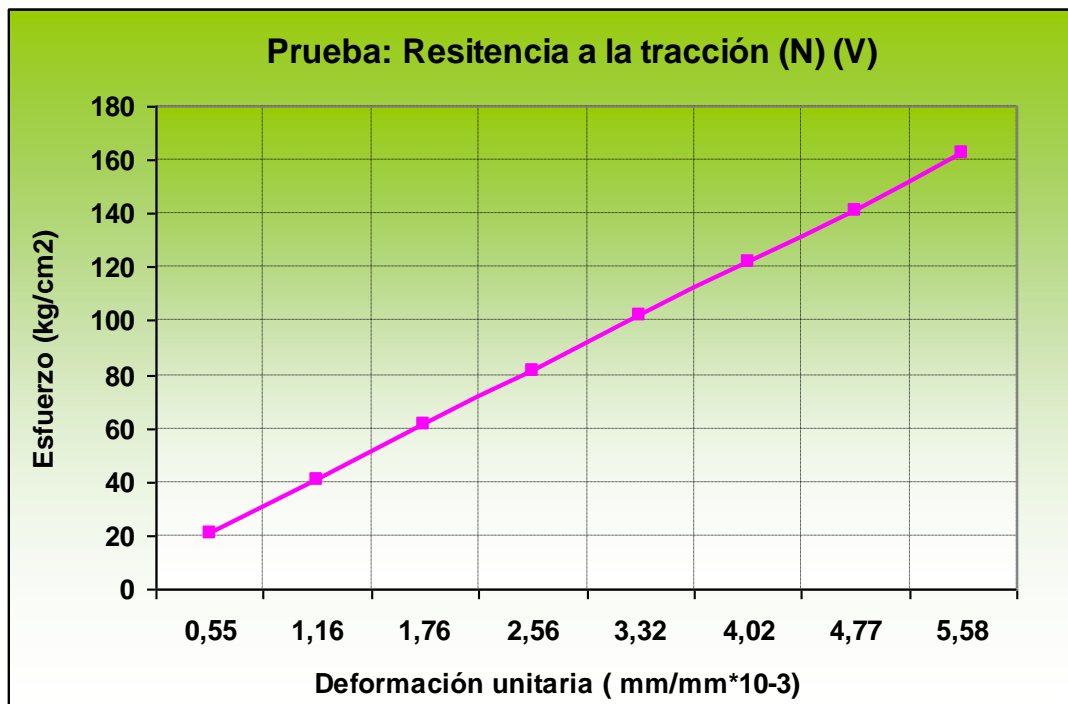


**Gráfico N° 39. Prueba de resistencia a la tracción del yagual en estado seco al horno.**

**Cuadro N° 49. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado verde.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Verde	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	11,00	2,54	199,00	20,33	0,55
	100	103,3	23,00	2,54	199,00	40,67	1,16
	150	154,95	35,00	2,54	199,00	61,00	1,76
	200	206,6	51,00	2,54	199,00	81,34	2,56
	250	258,25	66,00	2,54	199,00	101,67	3,32
	300	309,9	80,00	2,54	199,00	122,01	4,02
	350	361,55	95,00	2,54	199,00	142,34	4,77
	400	413,2	111,00	2,54	199,00	162,68	5,58

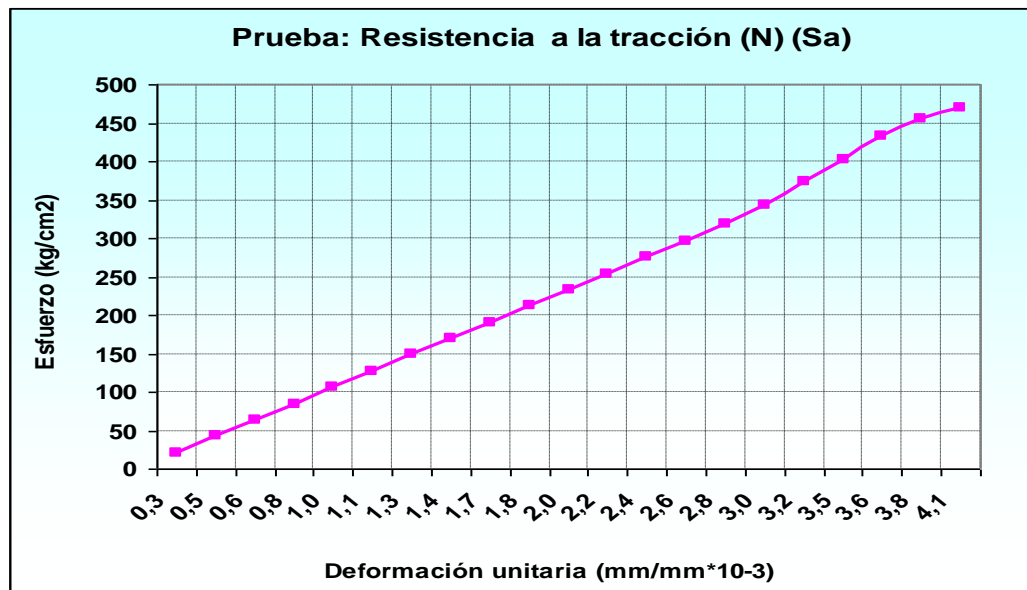




**Gráfico N° 40. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado verde.**

**Cuadro N° 50. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado seco al aire.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sa	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
50	51,65	5,00	2,44	197,00	21,17	0,25	
100	103,30	10,00	2,44	197,00	42,34	0,51	
150	154,95	12,00	2,44	197,00	63,50	0,61	
200	206,60	15,00	2,44	197,00	84,67	0,8	
250	258,25	19,00	2,44	197,00	105,84	1,0	
300	309,90	22,00	2,44	197,00	127,01	1,1	
350	361,55	25,00	2,44	197,00	148,18	1,3	
400	413,20	27,00	2,44	197,00	169,34	1,4	
450	464,85	33,00	2,44	197,00	190,51	1,7	
500	516,50	36,00	2,44	197,00	211,68	1,8	
550	568,15	40,00	2,44	197,00	232,85	2,0	
600	619,80	43,00	2,44	197,00	254,02	2,2	
650	671,45	48,00	2,44	197,00	275,18	2,4	
700	723,10	52,00	2,44	197,00	296,35	2,6	
750	774,75	56,00	2,44	197,00	317,52	2,8	
800	826,40	60,00	2,44	197,00	338,69	3,0	
850	878,05	64,00	2,44	197,00	359,86	3,2	
900	929,70	68,00	2,44	197,00	381,02	3,5	
950	981,35	71,00	2,44	197,00	402,19	3,6	
1000	1033,00	75,00	2,44	197,00	423,36	3,8	
1050	1084,65	80,00	2,44	197,00	444,53	4,1	



**Gráfico N° 41. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado seco al aire**

**Cuadro N° 51. Prueba de resistencia a la tracción del nogal, en estado seco al horno.**

ESTADO	P	Pcorr.	$\delta$	A	L	$\sigma$	E
Sh	kg	kg	mm x 10-2	cm <sup>2</sup>	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mmE-3
	50	51,65	4,00	2,48	197,56	20,83	0,20
	100	103,30	8,00	2,48	197,56	41,65	0,40
	150	154,95	13,00	2,48	197,56	62,48	0,66
	200	206,60	16,00	2,48	197,56	83,31	0,8
	250	258,25	19,00	2,48	197,56	104,13	1,0
	300	309,90	24,00	2,48	197,56	124,96	1,2
	350	361,55	29,00	2,48	197,56	145,79	1,5
	400	413,20	34,00	2,48	197,56	166,61	1,7
	450	464,85	38,00	2,48	197,56	187,44	1,9
	500	516,50	44,00	2,48	197,56	208,27	2,2
	550	568,15	48,00	2,48	197,56	229,09	2,4
	600	619,80	53,00	2,48	197,56	249,92	2,7
	650	671,45	58,00	2,48	197,56	270,75	2,9
	700	723,10	63,00	2,48	197,56	291,57	3,2
	750	774,75	69,00	2,48	197,56	312,40	3,5
	800	826,40	73,00	2,48	197,56	333,23	3,7
	850	878,05	79,00	2,48	197,56	354,05	4,0
	900	929,70	87,00	2,48	197,56	374,88	4,4
	950	981,35	85,00	2,48	197,56	395,71	4,3
	1000	1033,00	91,00	2,48	197,56	416,53	4,6
	1050	1084,65	99,00	2,48	197,56	437,36	5,0
	1100	1136,30	100,00	2,48	197,56	458,19	5,1
	1150	1152,20	106,00	2,48	197,56	464,60	5,4

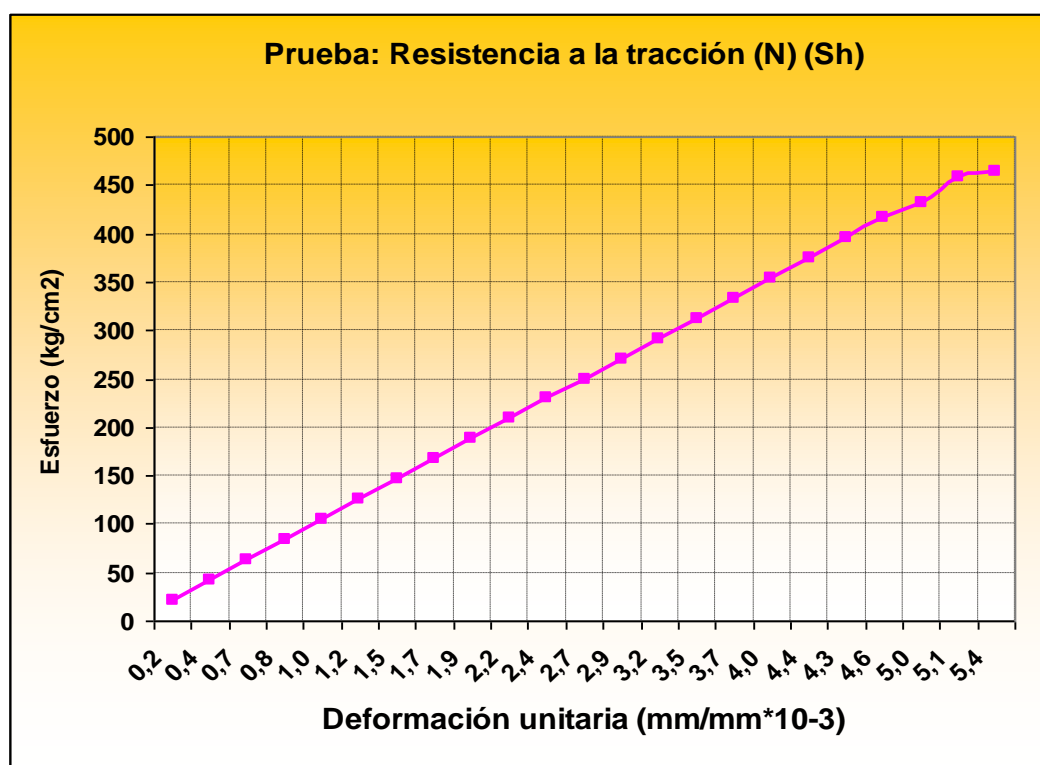


Gráfico N° 42. Prueba de resistencia a la tracción del nogal en estado seco al horno.

Cuadro N° 52. Prueba de trabajabilidad

ESPECIES (Códigos)	PRUEBAS		
	ASERRADO	CEPILLADO	TORNEADO
P	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno
Y	Malo	Malo	Malo
N	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno

Fuente: Observación aserradero y carpintería.

De acuerdo al cuadro 52 y al cuadro comparativo E, se puede indicar que las maderas de las especies estudiadas según el comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería (trabajabilidad) se ubicaron en el grupo I el platuquero y el nogal, comportamiento muy bueno y en el grupo IV, comportamiento malo la madera de la especie del yagual, por lo que se puede decir que al poseer el yagual un grano entrecruzado hace que sea una madera muy difícil de trabajar, lo que es ratificado por Baluarte V. Rommel y Arostegui 1991. Quienes indican que el grano que posee cada madera influye para una buena o mala trabajabilidad.

### **3- Clasificación de las maderas de acuerdo a su dureza.**

De acuerdo a los valores obtenidos en el ensayo físico (densidad), mecánico (dureza) y en base al cuadro 52 de clasificación de las maderas de acuerdo a su dureza indicado por: Markwardt y Heck (1991) las especies en estudio se clasifican como: maderas blandas en estado verde y como semi- duras en estados seco al aire y seco al horno.

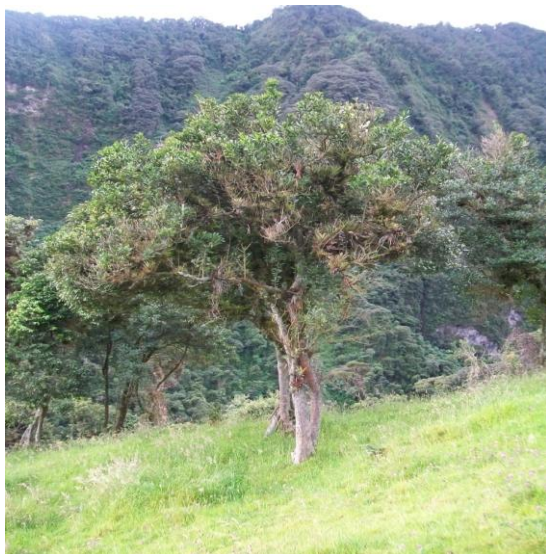
**Cuadro 53. Clasificación de las maderas de acuerdo a su dureza**

Especie	Peso específico	Grano	CLASIFICACIÓN SEGÚN		
			Peso específico	Dureza v/sa/sh	Trabajabilidad
Platuquero	0.60	recto	mediana	blanda Semidura Semidura	Muy buena
Yagual	0.67	entrecruzado	mediana	blanda Semidura Semidura	Mala
Nogal	0.61	recto	mediana	blanda Semidura Semidura	Muy buena

#### **4. Usos probables que se les puede dar a las especies del platuquero, yagual y nogal.**

##### **a. Propiedades propias de cada especie**

##### **1) Platuquero (*Styloceras laurifolium*)**



La madera de *Styloceras laurifolium*, es de color crema claro , su duramen presenta un color blanco , su albura es imperceptible, brillo medio , no posee ningún olor distintivo, presenta un veteado bajo, textura fina , grano recto, los anillos de crecimiento visibles a simple vista , porosidad difusa, poros solitarios, numerosos de forma redondeada, muy pequeños.

##### **2) Yagual (*Polylepis racemosa*)**

La madera de *Polylepis racemosa*, es de color amarillo claro, la corteza externa es de color rojiza que se desprende en forma continua en capas delgadas translucidas, con la consistencia de laminas de papel de color rojizos, no presenta un olor distintivo, brillo medio, madera de textura media, grano entrecruzado, los anillos de crecimiento poco visibles, presenta un veteado pronunciado, sus poros son muy pequeños y numerosos, porosidad difusa.



### 3) Nogal (*Juglans neotropica*)



La madera de *Juglans neotropica*, su albura es de color marrón claro con transición gradual a duramen de color marrón negruzco, con líneas castañas y negras, textura fina, brillo medio, veteado en arcos superpuestos, producidos por bandas de tejido, mas denso y oscuro del leño, grano recto, los límites de anillos de crecimientos indistintos, porosidad circular y agrupación de poros de forma diagonal y/o radial, con vasos exclusivamente solitarios y con forma ovalada, no presenta olor ni sabor característico.

Las propiedades físicas como la densidad básica, resistencia mecánica, secado, trabajabilidad, grano y veteado de la madera. La combinación de estas características y propiedades sirven para la determinación de los usos probables que se les puede dar a las tres maderas en estudio en base las características evaluadas y analizadas se elaboró en base al esquema que presenta la Revista Forestal del Perú 2001 y que sirvió para elaborar el cuadro 54 y 55.

**Cuadro N° 54. Características y propiedades para la clasificación de las maderas de tres especies forestales andinas según sus usos.**

Especie	Densidad básica	Resistencia mecánica	Secado	Trabajabilidad	Grano
Platuquero	Media	Media -Alta	Muy bueno	Muy bueno	Recto
Yagual	Media	Media	Muy malo	Malo	Entrecruzado
Nogal	Media	Media-Alta	Muy bueno	Muy bueno	Recto

NOMBRE DE LAS MADERAS	CONSTRUCCIONES											OTROS USOS																			
	Viviendas					Otras construcciones																									
	Estructuras	Obras carpintería	Encofrados	Pisos (Parquet)	Tejas	Escalones	Pesadas en general	Civiles	Carrocerías	Muebles ordinarios	Muebles – ebanistería	Cajonería	Carpintería en general	Laminado	Contrachapado	Chapas decorativas	Duelas	Medias duelas	Durmientes	Postes	Tablones	Mango de herramientas	Juguetería	Vigas	Artesanías	Art. atléticos y deportivos	Instrumentos musicales	Escultura tallada	Palos de fósforo	Pulpa y papel	
<b>Platuquero</b>		X	X				X		X			X					X	X		X	X	X	X	X	X				X		
<b>Yagual</b>									X			X								X		X	X		X						
<b>Nogal</b>		X	X	X			X		X	X		X	X				X	X		X	X	X	X	X	X				X		

## **VI. CONCLUSIONES**

- 1.** En cuanto a las pruebas mecánicas realizadas y evaluadas se determinó que la madera secada al horno (120°C / 20 días) tiene mayor resistencia que la madera secada al aire (13.8°C / 155 días).
- 2.** Por sus características físico -mecánicas, características estéticas, anatómicas y por su fácil trabajabilidad se concluyó que la madera del nogal posee un mayor número de usos probables en relación al platuquero y yagual.
- 3.** De acuerdo a las características estéticas y anatómicas que presentan el nogal y platuquero podrían ser potencialmente importantes para la industria de la ebanistería y artesanía, por lo que podrían sustituir s otras maderas demandadas en el mercado.
- 4.** A pesar de tener las tres especies propiedades físicas y mecánicas similares, el yagual presenta ciertas deformaciones al ser sometida a un proceso de secado (natural o artificial) y una difícil trabajabilidad debido al tipo de grano que presenta (entrecruzado) lo cual limita su industrialización.



## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1.** Se debe trabajar con madera secada al horno para obtener una humedad menor o igual al 12%, por presentar mayor resistencia
- 2.** Se sugiere se sigan realizando investigaciones para determinar características físicas y mecánicas de otras especies forestales nativas con el fin de disminuir la sobre explotación de especies en peligro de extinción.
- 3.** Hacer una comparación de características físicas y mecánicas de una misma especie proveniente de diferentes sectores.
- 4.** Producir en viveros forestales mayor cantidad de platuquero y ejecutar programas de reforestación por ser una especie en peligro de extinción.
- 5.** Implementar laboratorios de tecnología de la madera con el fin de abaratar costos y realizar estudios sobre nuevas especies que permitan diversificar la madera como materia prima para la industria.

## VIII. RESUMEN

La presente investigación propone: Determinar las propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales andinas: platuquero (*styloceras sp*), yagual (*polylepis racemosa*), nogal (*juglans neotropica*). Los ensayos físicos se realizaron en el laboratorio de ciencias biológicas y los ensayos mecánicos se efectuaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la ESPOCH. Las propiedades físicas que se evaluaron fueron: contenido de humedad y densidad. En lo relacionado a las propiedades mecánicas, se realizaron ensayos de flexión estática, dureza brinell, cizallamiento, tracción, compresión paralela y perpendicular al grano. Los ensayos físico-mecánicos se llevaron a cabo en estado verde (CH>30%), estado seco al aire (CH>12%) y seco al horno (CH = 12%). Las maderas de las tres especies presentaron una densidad básica media; de acuerdo a su dureza se clasificaron como: maderas blandas en estado verde y como semi- duras en estados seco al aire y seco al horno. En cuanto a su resistencia mecánica se clasificaron como media a alta las especies del platuquero y el nogal y resistencia media la especie del yagual, según el comportamiento al trabajo con máquinas de carpintería (trabajabilidad) se ubicaron en el grupo I el platuquero y el nogal (comportamiento muy bueno) y en el grupo IV (comportamiento malo) la especie del yagual . En cuanto al secado de la madera el nogal y el platuquero presentaron un secado muy bueno, mientras que la especie del yagual presentó defectos y deformaciones, presentando un secado malo. La combinación de estas características y propiedades sirvieron para asignarles usos probables que se les puede dar a las maderas en estudio como: platuquero y nogal (obras de carpintería, encofrados, obras civiles, duelas, medias duelas, postes, tablones, mango de herramientas, juguetería, vigas, artesanías , estructura tallada); nogal (ebanistería , laminado) y el yagual (muebles ordinarios , postes, mangos de herramientas, juguetería, artesanías).

## **IX. ABSTRACT**

The present research proposes: Determining the physical and mechanical properties of three Andean species platuquero (*styloceras sp*), yagual (*polylepis racemosa*) and walnut (*juglans neotropica*). The physical experiments were carried out in the biological sciences laboratory and the mechanical resistance experiments were carried out in the strength laboratory at the ESPOCH (Higher Education). The physical properties evaluated were: humidity content (HC) and density. Related to the mechanical properties, were carried out static flexion experiments, Brinell hardness, shear tension, traction, parallel and perpendicular compression to the grain. The physical-mechanical experiments were carried out in green condition (CH>30%), dry condition on open air (CH>12%) and oven-dried (CH=12%). The tree-species wood showed a medium basic density; according to the hardness were segmented as: soft-wood in green condition and as semi-hard in dry condition on open air and oven-dried. According to the mechanical resistance were segmented from medium to high the platuquero and walnut species and medium resistance the yagual specie, according to the behavior for working with woodworking machines (workable) were placed in the group I the platuquero and the walnut ( very good – behavior) and the group IV (bad- behaviour) the yagual specie. Concerning to the wood drying, the walnut and the platuquero showed a very good drying, while the yagual specie showed defects and deformations, showing a bad drying. The combination of these characteristics and properties were useful to assign probable uses that can be given to the wood in the study as: platuquero and walnut (carpentry works, casing , civil engineering works, staves, half staves, posts, beams, tool handles, toy industry, handicrafts, carved wood frame); walnut (woodwork, laminated) and the yagual (furniture, posts, handles, toy industry, handicrafts).

## **X.- BIBLIOGRAFÍA**

1. ACOSTA, S. 1960 Maderas del Ecuador y sus usos, editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito 1960.
2. ANDERSON J y LEAVER K, 1978. Ciencia de los Materiales. Editorial LIMUSA. México
3. ANDRADE. A. Anatomía y Secado de las Maderas, Universidad Michoacana de San Nicolás. México, 65 pp.
4. AROSTEGUI, A. 1987. Informe técnico semestral. Proyecto “Estudios Básicos y Aplicados de la Madera, estudio propiedades físicas y mecánicas de maderas de Selva baja. - Perú.
5. CAÑADAS LUIS. 1983, Mapa bioclimático y Fisiológico del Ecuador MAG-PRONAREG, Quito - Ecuador 210p.
6. CARANQUI J. 2008. Inventario Florístico, Palitachua
7. CARRILLO P, 1989. Propiedades Físicas y Mecánicas de cinco especies nativas: Aliso, Arrayán, Capulí, Molle y Quishuar. Tesis de Ing Agr. ESPOCH. Fac. Ing Agr. Riobamba.
8. CATALOGO DE LAS PLANTAS VASCULARES DEL ECUADOR 2000.
9. CUEVAS H, 1982. Ensayos Mecánicos de la Madera. Facultad de ciencias forestales Chile.
10. DELGADO, G. 1975. Propiedades de la Madera, Escuela de Ingeniería Forestal Mérida. Venezuela.

11. ERNITZ, A. Manual de Maderas. Librería y Editorial Alsina Buenos Aires Argentina. 1961.
12. FREIRE A, 2004. Botánica sistemática, Missouri Botánica Garden.
13. HINOJOSA H. Propiedades Físicas y Mecánicas de cinco especies nativas: Cedro, Tarqui, Motilón, Samal, Turo Aliso. Tesis de Ing Agr. ESPOCH. Fac. Ing Agr. Riobamba. 1992.
14. HOLDRIDGE, L. 1982. Ecología en zonas de vida. San José, IICA. 9p.
15. JARAMILLO F. ONTANEDA, G. 1989. Estudio de las características tecnológicas, trabajabilidad y usos de la especie forestal *Pollalesta karstenii*, Pigüe. Tesis. Ing. For. Loja, Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Facultad de Ciencias Agrícolas. Escuela de Ingeniería Forestal. 142 p.
16. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. 1981. Descripción general y anatómica de 105 maderas del Grupo Andino. PADT, REFORT, JUNAC. Proyectos Andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. Lima, Perú. p. 209. 441 p.
17. KARSULOVIC J 1982, Propiedades físicas y mecánicas de la madera
18. KOLMAN F. 1959, Tecnología de la madera y sus aplicaciones.
19. MANUAL DE PRODUCTOS FORESTALES, Perú 1996.
20. Monografías.com (Internet)
21. OCAÑA O. 1985, Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de las Sierra Peruana. Editorial Centauro, Proyecto FAO- HOLANDA

22. PÉREZ 1983, Manual de Propiedades físicas y mecánicas de Madera.
23. PRADO L. Y VALDEBENITO H. 2000, Contribución a la fenología de especies Forestales nativas andinas de Bolivia y Ecuador. Intercooperation. Quito-Ecuador.
24. STOPIN, Resistencia de Materiales 2da. Edición Editorial MIR Moscú 1976.
25. TORRES, H. 1971 Maderas.
26. VILELA E. 1969 Propiedades Físicas y Mecánicas de 137 Maderas de Guyana Venezolana.
27. VISCARRA, S. Guía para el secado de la madera en hornos. 1998
28. ([www.deter.pro-meca.nl/.php](http://www.deter.pro-meca.nl/.php))
29. ZAVALA P. 1992 Propiedades Físicas y Mecánicas de cinco especies nativas: Naranjo, Chachacoma, Piquil, Guzmán y Gañal Tesis de Ing Agr. ESPOCH. Fac. Ing Agr. Riobamba.

## **XI. ANEXOS**

### **Anexo 1. Dimensiones lineales promedios por posición de trabajo para prueba de humedad, densidad en estado verde.**

<b>ESPECIES (Código)</b>	<b>PROBETA (N)</b>	<b>CARA</b>				<b>LONGI- TUDINAL</b>
		<b>RADIAL</b>		<b>TANGENCIAL</b>		
		<b>(cm)</b>		<b>(cm)</b>		<b>(cm)</b>
		<b>De1</b>	<b>De2</b>	<b>De1</b>	<b>De2</b>	<b>Dt</b>
P 1-2	1-5	3.07	3.08	3.06	3.07	10.11
Y 1-2	1-5	3.03	3.02	3.03	3.04	10.08
N1-2	1-5	2.96	2.97	2.97	2.97	9.89

De1: Dimensión lineal del extremo 1

De2: Dimensión lineal del extremo 2

Dt: Dimensión lineal a lo largo de la probeta

1-2: Prueba de contenido de humedad y densidad

### **Anexo 2. Pesos promedios de probetas, para pruebas de contenido de humedad y densidad en estado verde.**

<b>ESPECIES (Código)</b>	<b>PROBETAS Nº</b>	<b>PESOS (gr)</b>
P 1-2	16-17	96.33
	1-17*	94.02
Y 1-2	16-17	90.70
	1-17*	91.55
N1-2	16-17	71.81
	1-17*	70.97

(1-2): Prueba de contenido de humedad y densidad

\*: Probetas para cálculo de contenido de humedad en diferentes fechas

**Anexo 3. Peso promedio de probetas (Corte de los extremos 1y2 de probetas 16 y 17) para cálculo de contenido de humedad en estado verde y seco al horno a 103°C por 24 horas.**

ESPECIES (Código)	PROBETAS N°	ESTADOS (v y s)	PESOS (gr)
P (1-2)	16-17	V S	17.12 9.96
Y (1-2)	16-17	V S	16.59 10.15
N (1-2)	16-17	V S	15.29 9.87

(1-2): Prueba de contenido de humedad y densidad

V: Probetas en estado verde

S: Probetas en estado seco (secado en una estufa a 103°C por 24 horas)

**Anexo 4. Pesos promedios (tomados en diferentes fechas) de probetas para calculo de contenido de humedad y densidad.**

Especies (código) /peso (gr)				
Fecha	N° probeta	P (1-2)	Y (1-2)	N(1-2)
9-07-2012	1-17	94.02	91.55	70.97
10-07-2012	1-5	91.23	87.12	68.99
11-07-2012	1-5	88.12	84.06	66.40
12-07-2012	1-5	85.04	81.50	65.81
13-07-2012	1-5	81.73	78.36	63.49
16-07-2012	1-5	78.38	75.91	62.35
17-07-2012	1-5	75.96	73.35	60.10
18-07-2012	1-5	72.17	70.37	58.64
19-07-2012	1-5	68.90	67.79	57.12
20-07-2012	1-5	67.10	64.91	56.52
23-07-2012	1-5	66.59	64.18	55.98
24-07-2012	1-5	65.26	63.98	55.69
25-07-2012	1-5	64.16	62.42	54.82
26-07-2012	1-5	63.14		53.99
27-07-2012	1-5			53.26
30-07-2012	1-5			52.26

(1-2): Prueba de contenido de humedad y densidad



**Anexo 5. Contenido de humedad de las probetas en diferentes fechas y por especie  
(Probetas 3x3x10)**

<b>Pshc</b>	<b>ESPECIES /Pesos promedio/CH%</b>		
<b>Fecha</b>	<b>P</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>
Pshc	56.04	55.49	46.35
Julio 9/2012			
Peso promedio. (gr)	94.02	91.55	70.97
Cont. humedad (%)	67.77	64.98	53.12
Julio 10/2012			
Peso promedio. (gr)	91.23	87.12	68.99
Cont. humedad (%)	62.79	57.00	48.85
Julio 11/2012			
Peso promedio. (gr)	88.12	84.06	66.40
Cont. humedad (%)	57.24	51.49	43.26
Julio 12/2012			
Peso promedio. (gr)	85.04	81.50	65.81
Cont. humedad (%)	51.75	46.87	41.98
Julio 13/2012			
Peso promedio. (gr)	81.73	78.36	63.49
Cont. humedad (%)	45.84	41.21	36.98
Julio 16/2012			
Peso promedio. (gr)	78.38	75.91	62.35
Cont. humedad (%)	39.86	36.80	34.52
Julio 17/2012			
Peso promedio. (gr)	75.96	73.35	60.10
Cont. humedad (%)	35.35	32.19	29.67
Julio 18/2012			
Peso promedio. (gr)	72.17	70.37	58.64
Cont. humedad (%)	28.78	26.82	26.52
Julio 19/2012			
Peso promedio. (gr)	68.90	67.79	57.12
Cont. humedad (%)	22.95	22.17	23.24

<b>Pshc</b>	<b>ESPECIES /Pesos promedio/CH%</b>			
	<b>Fecha</b>	<b>P</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>
	Julio 20/2012			
	Peso promedio. (gr)	67.10	64.91	56.52
	Cont. humedad (%)	19.74	16.98	21.94
	Julio 23/2012			
	Peso promedio. (gr)	66.59	64.18	55.98
	Cont. humedad (%)	18.83	16.20	20.78
	Julio 24/2012			
	Peso promedio. (gr)	65.26	63.98	55.69
	Cont. humedad (%)	16.45	15.30	20.15
	Julio 25/2012			
	Peso promedio. (gr)	64.16	62.42	54.82
	Cont. humedad (%)	14.49	12.49	18.27
	Julio 26/2012	63.14		
	Peso promedio. (gr)	12.67		53.99
	Cont. humedad (%)			16.48
	Julio 27/2012			
	Peso promedio. (gr)			53.26
	Cont. humedad (%)			14.91
	Julio 30/2012			52.26
	Peso promedio. (gr)			12.75
	Cont. humedad (%)			

Pshc: Peso seco al horno calculado (constante para cada una de las especies)

**Anexo 6. Peso promedio de probetas para pruebas de contenido de humedad en estado seco al aire y seco al horno (seco aproximadamente al 12% de contenido de humedad).**

<b>Especies (Código)</b>	<b>Probetas N°</b>	<b>Estados Sa/ Sh</b>	<b>Pesos (gr)</b>
P	1-5	Sa	63.14
(1-2)	11-15	Sh	62.22
Y	1-5	Sa	62.42
(1-2)	11-15	Sh	61.68
N	1-5	Sa	52.26
(1-2)	11-15	Sh	51.56

(1-2): Prueba de contenido de humedad y densidad

Sa: Probetas secas al aire en el predio del aserradero los andes

SH: Probetas secas en una estufa a temperatura constante de 20°C

**Anexo 7. Dimensiones lineales promedio por posición de trabajo para prueba de contenido de Humedad y densidad en estado seco al aire y seco al horno (aproximado al 12%)**

<b>Especies (Código)</b>	<b>Probeta N</b>	<b>Estados</b>	<b>Cara Radial (cm)</b>		<b>Cara tan- gencial (cm)</b>		<b>Cara Longitudinal (cm)</b>
			<b>De1</b>	<b>De2</b>	<b>De1</b>	<b>De2</b>	<b>Dt</b>
P	6-10	Sa	2.93	2.95	2.95	2.95	9.95
(1-2)	11-15	Sh	2.93	2.94	2.94	2.94	9.94
Y	6-10	Sa	2.83	2.85	2.84	2.86	9.04
(1-2)	11-15	Sh	2.83	2.85	2.84	2.85	9.02
N	6-10	Sa	2.89	2.90	2.91	2.89	9.56
(1-2)	11-15	Sh	2.88	2.89	2.90	2.88	9.59

**Anexo 8. Contenido de humedad en condiciones seco al aire y seco al horno.**

Especies Código	Fecha (2012)	Psa (gr)	Psh (gr)	CH(Sa) (%)	CH (Sh) (%)
P	Julio-19		62.22		11.03
(1)	Julio-26	63.14		12.67	
Y	Julio- 18		61.68		11.11
(1)	Julio- 25	62.42		12.49	
N	Julio- 20		51.56		11.24
(1)	Julio- 30	52.26		12.75	

(1): Prueba de contenido de humedad

PSa: Peso seco al aire

PSh: Peso seco al horno

CHSa: Contenido de humedad seco al aire (12% CH)

CHSh: Contenido de humedad seco al horno (12% CH)

**Anexo 9. Volumen de las probetas en 3 estados: Verde, seco al aire y seco al horno.**

Especies (Código)	Tratamientos (Probetas, cm)	Vvx (cm <sup>3</sup> )	VSax (cm <sup>3</sup> )	VShx (cm <sup>3</sup> )
P	3x3x10	95.29	86.27	85.63
(1,2)				
Y	3x3x10	92.53	73.17	72.89
(1,2)				
N	3x3x10	87.08	80.25	79.93
(1,2)				

(1-2): Prueba de contenido de humedad y densidad

Vvx: Volumen en verde promedio

VSax: Volumen seco al aire promedio

VShx: Volumen seco al horno promedio

## Anexo 10. Valores promedios obtenidos en la prueba de Dureza Brinell

Especie (Código)	Probeta Estado (V/Sa/Sh)	Carga		Diámetros		
		P (kg)	Dcr (cm)	Dct (cm)	Dc1 (cm)	Db (cm)
P	V	254.35	0.54	0.55	0.56	1.00
(4)	Sa	331.47	0.65	0.66	0.42	1.00
	Sh	348.32	0.58	0.56	0.57	1.00
Y	V	258.93	0.63	0.60	0.63	1.00
(4)	Sa	393.84	0.62	0.64	0.59	1.00
	Sh	394.13	0.65	0.61	0.62	1.00
N	V	225.55	0.57	0.56	0.54	1.00
(4)	Sa	382.32	0.56	0.53	0.57	1.00
	Sh	388.27	0.49	0.53	0.50	1.00

(4): Prueba Dureza Brinell

P: Carga aplicada

Dcr: Diámetro de la huella en la cara radial

Dct: Diámetro de la huella en la cara tangencial

Dc1: Diámetro de la huella en la cara longitudinal

Db: Diámetro de la bola indentor

## Anexo 11. Cuadros comparativos o patrones de identificación

### Cuadro A: Clasificación de la madera por su densidad

CLASIFICACIÓN	DENSIDAD kg/m <sup>3</sup>
Pesadas	800
Ligeras	500 a 700
Muy ligeras	menores de 500

Fuente: (Hinojosa H y Zavala P 1992)

**Cuadro B: Clasificación de madera por su peso específico**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>PESO ESPECIFICO kg/m<sup>3</sup></b>
Liviana	360 a menos
Moderadamente liviana	360 a 500
Moderadamente pesada	360a 500
Pesadas	mayor a 500

Fuente: (Heck 2001, Hinojosa H y Zavala P 1992)

**Cuadro C: Limite de valores para la clasificación de especies**

Propiedad	Densidad seca al aire verde-seco horno	Contracción volumétrica: %	Relación T/R verde-seco horno	Modulo de ruptura en flexión	Resistencia máxima en compresión paralela	Esfuerzo al l.p en compresión perpendicular	Dureza (lados)	Cizalla miento	Tenacidad
	gr/cm <sup>3</sup>	%		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	kg/m
Clasificación									
Muy Bajo	0.35	8	1.4	481	256	21	140	47	0.66
Bajo	0.50	10	1.7	750	750	39	289	71	1.09
Mod Bajo	0.65	12	2.0	1092	1092	64	518	98	1.58
Mediano	0.85	15	2.3	1458	1458	105	912	135	2.32
Mod. Alto	1.00	17	2.6	1787	1787	142	1285	164	2.90
Muy Alto	1.15	19	3.0	2138	2138	192	1725	194	3.53

Fuente: (Sotomayor 1987, Hinojosa H y Zavala P 1992)

**Cuadro D. Clasificación de especies por su dureza BRINELL.**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>DUREZA kg/cm<sup>2</sup></b>
Muy duras	mayor a 600
Duras	de 450 a 600
Semi duras	de 300a 450
Blandas	menor a 300

Fuente: (Hinojosa H y Zavala P 1992)

**Cuadro E. Clasificación de especies por su trabajabilidad.**

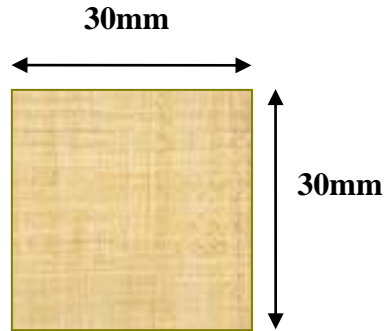
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>GRUPO</b>
Muy bueno	I
Bueno	II
Regular	III
Malo	IV

Fuente: AROSTEGUI, A. 1997

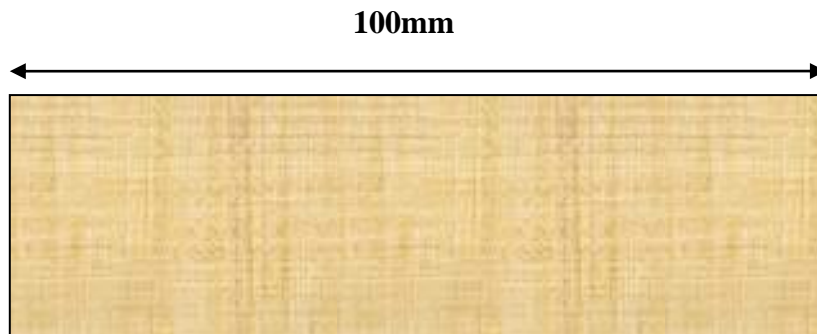


**Anexo 12. Laminas de las probetas**

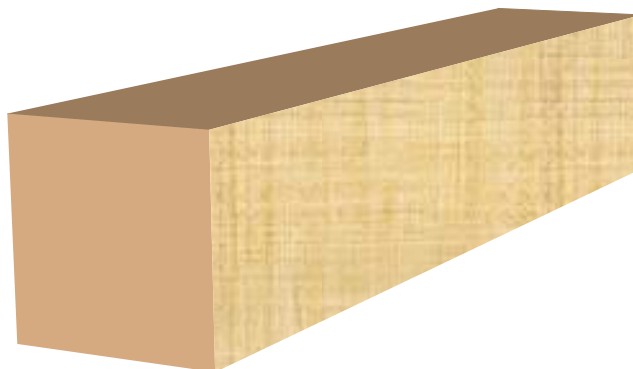
**VISTA DE FRENTE**



**VISTA LATERAL**

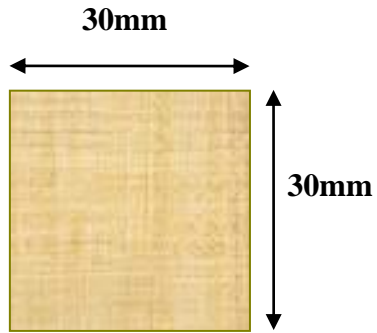


**PERSPECTIVA**

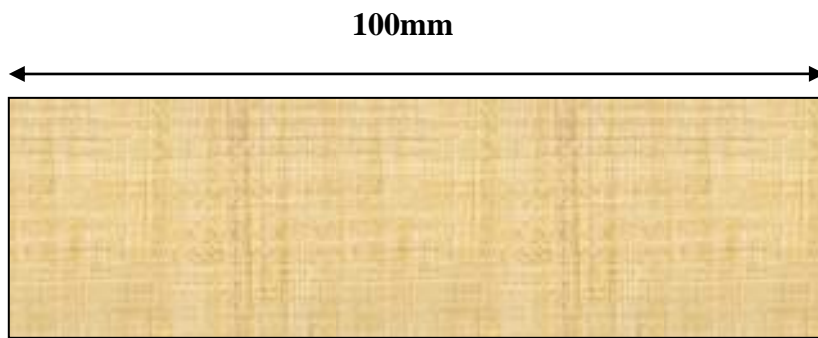


<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBA FISICA</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DIN 52182</b>
<b>NOMBRE: IRENE PAGUAY</b>	<b>ESCALA 1:100</b>

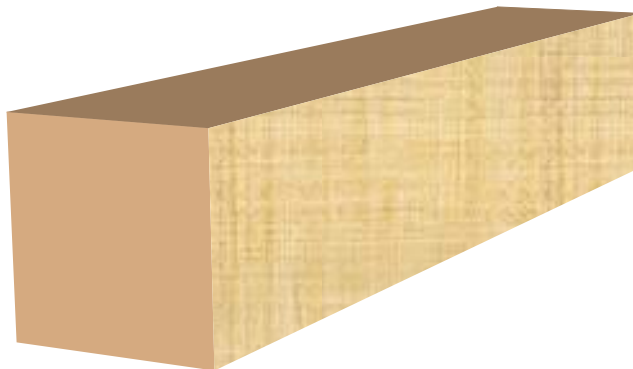
## VISTA DE FRENTE



## VISTA LATERAL

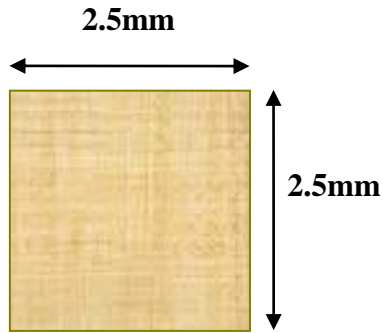


## PERSPECTIVA

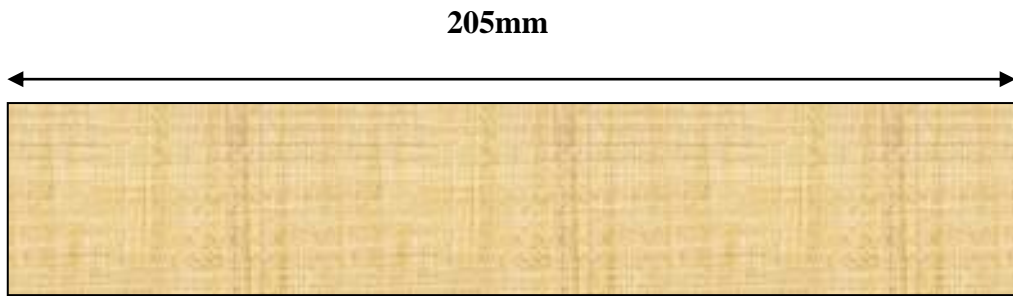


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	PRUEBA FISICA
FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL	DENSIDAD - DIN 52182
NOMBRE: IRENE PAGUAY	ESCALA 1:100

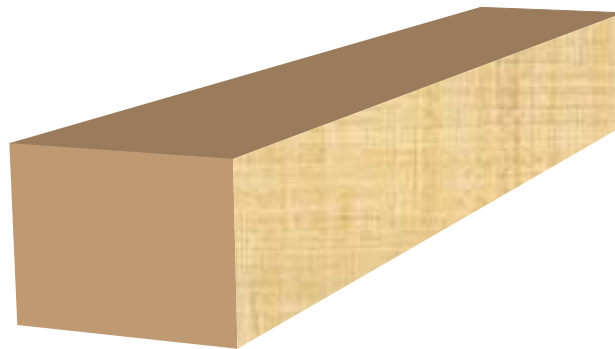
## VISTA DE FRENTE



## VISTA LATERAL

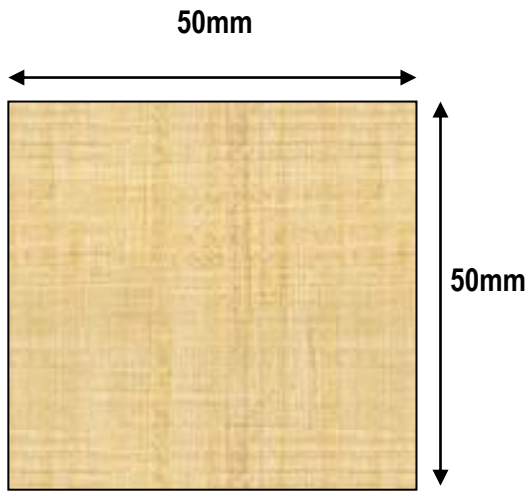


## PERSPECTIVA

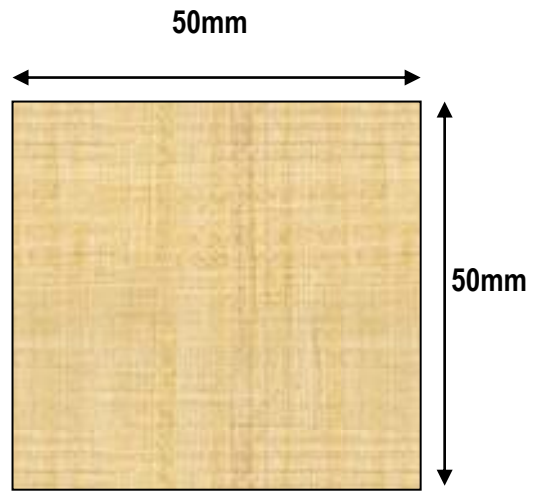


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	PRUEBA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL	PRUEBA DE FLEXIÓN ASTM D 143/45-252
NOMBRE: IRENE PAGUAY	ESCALA 1:100

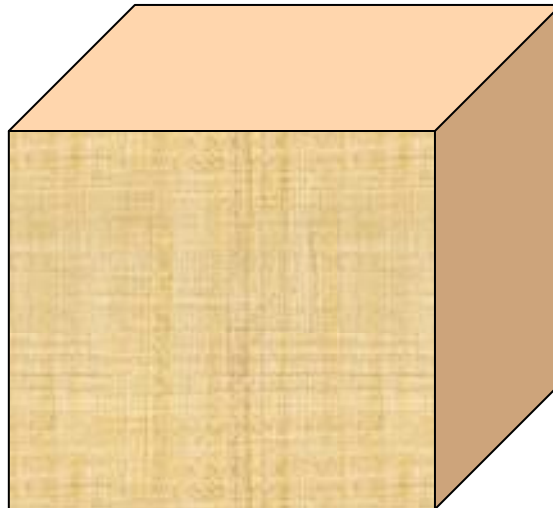
### VISTA DE FRENTE



### VISTA LATERAL

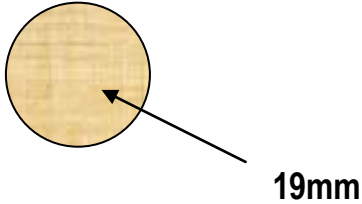


### PERSPECTIVA

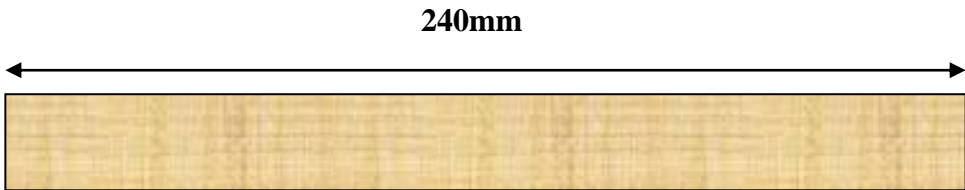


ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	PRUEBA MECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL	PRUEBA DE DUREZA ASTM D 143/83-87
NOMBRE: IRENE PAGUAY	ESCALA 1:100

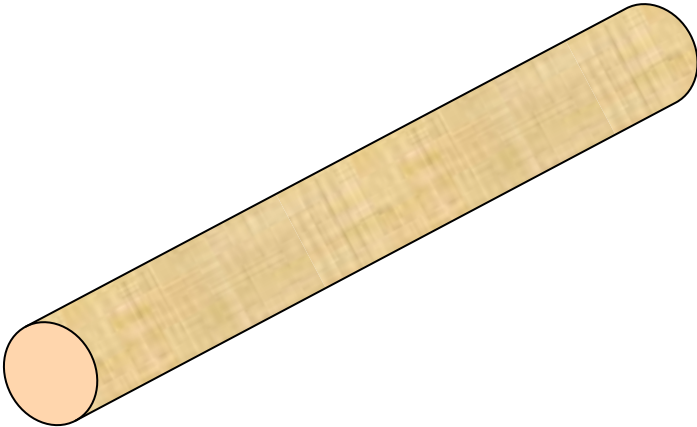
**VISTA DE FRENTE**



**VISTA LATERAL**



**PERSPECTIVA**



<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBA MECÁNICA</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL</b>	<b>PRUEBA DE CORTE , MAQUINA UNIVERSAL</b>
<b>NOMBRE: IRENE PAGUAY</b>	<b>ESCALA 1:100</b>

**VISTA DE FRENTE**

50mm



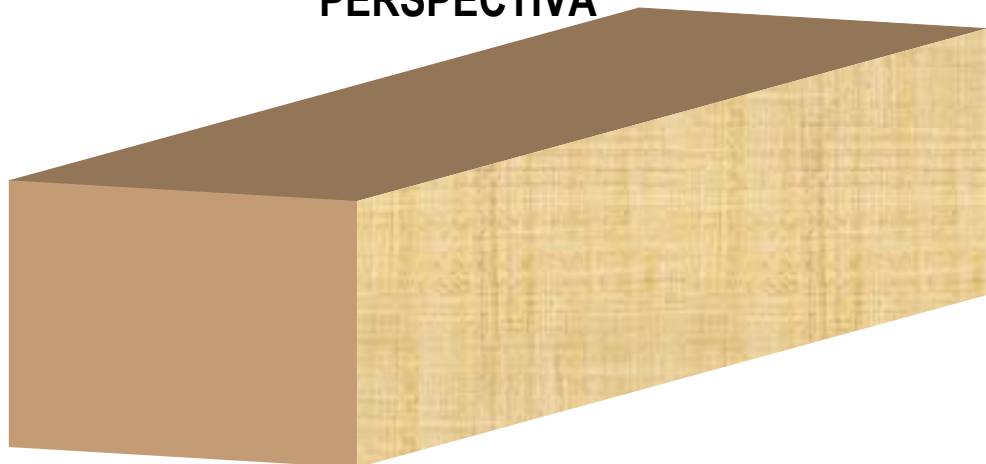
50mm

**VISTA LATERAL**

150mm

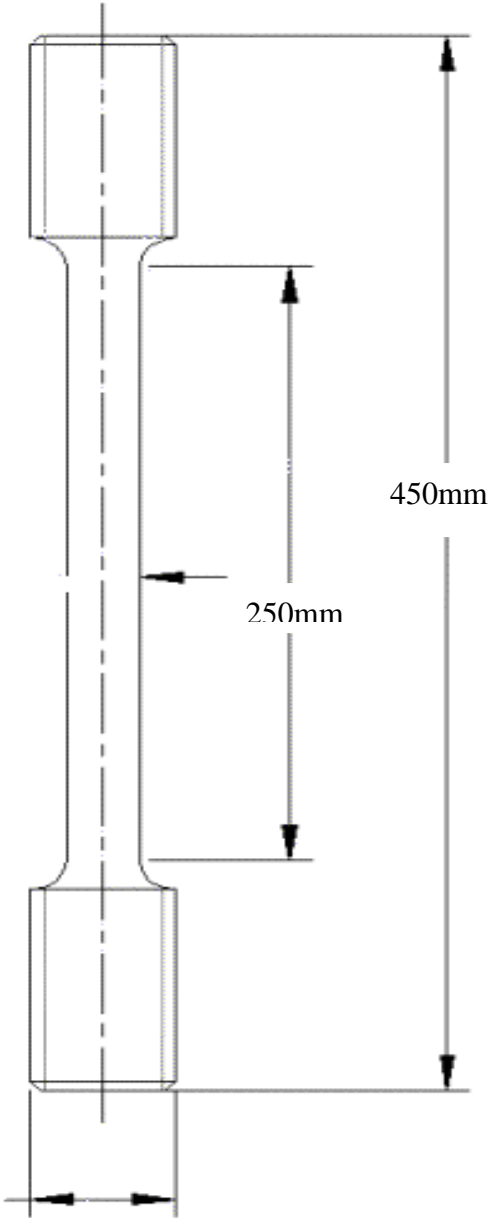


**PERSPECTIVA**



<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBA MECÁNICA</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL</b>	<b>PRUEBA DE COMPRESIÓN PERPENDICULAR Y COMPRESION PARALELA ASTM D43</b>
<b>NOMBRE: IRENE PAGUAY</b>	<b>ESCALA 1:100</b>

**VISTA DE FRENTE**



<b>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>PRUEBA MECÁNICA</b>
<b>FACULTAD DE INGENIERIA FORESTAL</b>	<b>PRUEBA DE TRACCIÓN NIVERSAL ASTM D143</b>
<b>NOMBRE: IRENE PAGUAY</b>	<b>ESCALA 1:3</b>

**Anexo 13. Recolección de muestras en los Sectores Toldo (Quimiag) y el Tambo (Palictahua).**

**Ilustración 1.- Actividades realizadas en los sitios de recolección de árboles.**



Registro de datos: altitud, latitud longitud y coordenadas



Medición de la altura del árbol



Medición de diámetro a la altura del pecho (DAP)





Apeo del árbol de yagual



Apeo del árbol del platuquero



Desrame de árboles con motosierra y segueta



Medición y trozado (1m de longitud de la troza)



Codificación de las trozas de los árboles de platuquero, yagual y nogal

**Ilustración 2.- Proceso de aserrio de las maderas para la obtención de listones.**



Alineación de las trozas (cantedora)



Corte de la troza (sierra circular)



Cepillado de los listones (cepilladora)



Listones de diferentes medidas

**Ilustración 3.- Preparación de probetas para ensayos físico-mecánicos.**



Elaboración de probetas para los ensayos de contenido de humedad, densidad, flexión, dureza, compresión paralela y perpendicular. (Inglateadora)



Elaboración de probetas para el ensayo de tracción (sierra)



Elaboración de las probetas para el ensayo de corte o cizallamiento (Torno con juego de formones)



Probetas para ensayos físicos



Probetas para ensayos mecánicos

#### Anexo 14. Determinación de las propiedades físicas de las tres especies en estudio.

##### Ilustración 1.- Determinación del contenido de humedad y densidad



Medición de las probetas (3x3x10cm y 3x3x2 cm)



Peso de las probetas (3x3x10 cm y 3x3x2 cm)



Deshidratación de las probetas por 24 horas

## Anexo 15. Determinación de las propiedades mecánicas de las tres especies en estudio

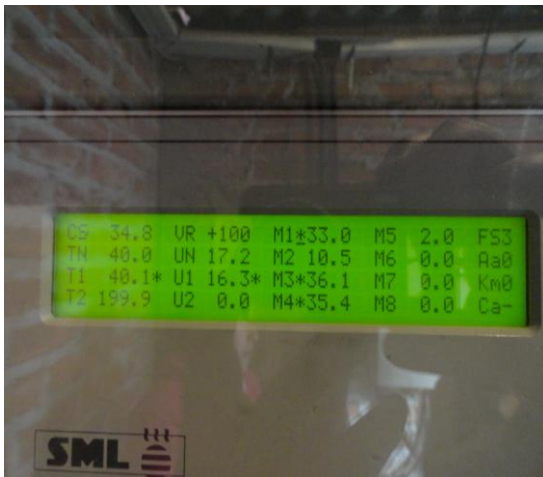
### Ilustración 1.- Secado de la madera al aire libre y en cámara controlada.



Listones de madera secado al aire libre

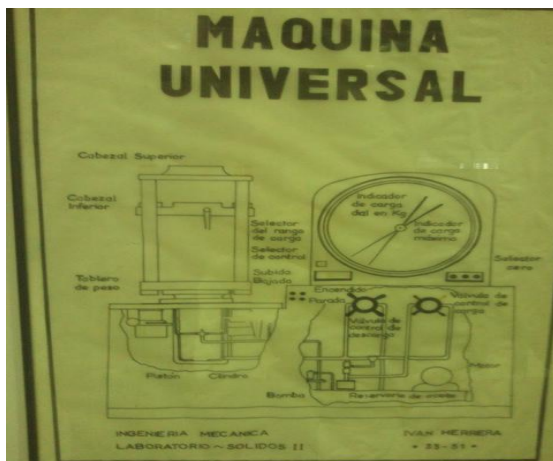


Secado de la madera en cámara controlada



Control del porcentaje de humedad de las maderas

**Ilustración 2.- Maquina utilizada para los ensayos mecánicos**

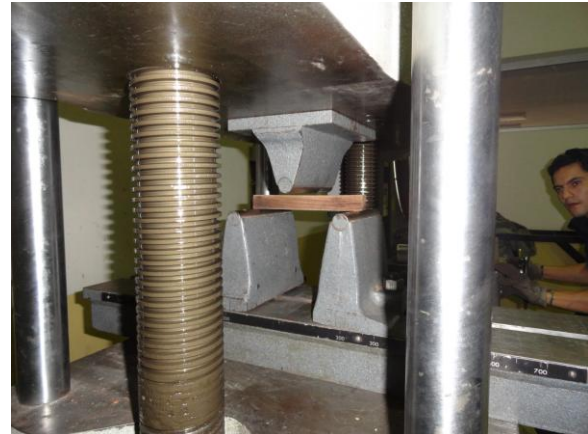


Maquina Universal

**Ilustración 3.- Ensayo de flexión estática**



Marcación en el centro de la probeta



Ubicación de la probeta en la cama de flexión

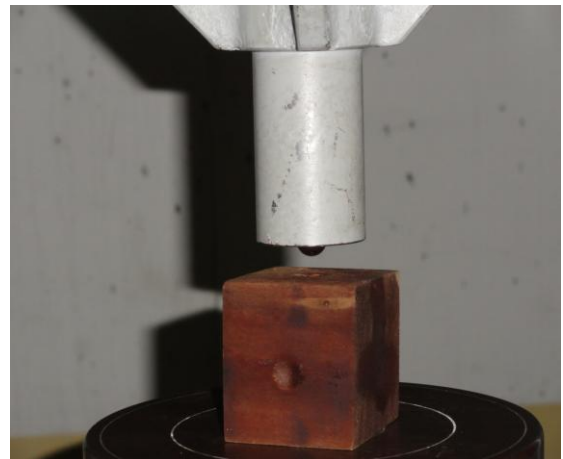


Aplicación de cargas en el centro de la probeta

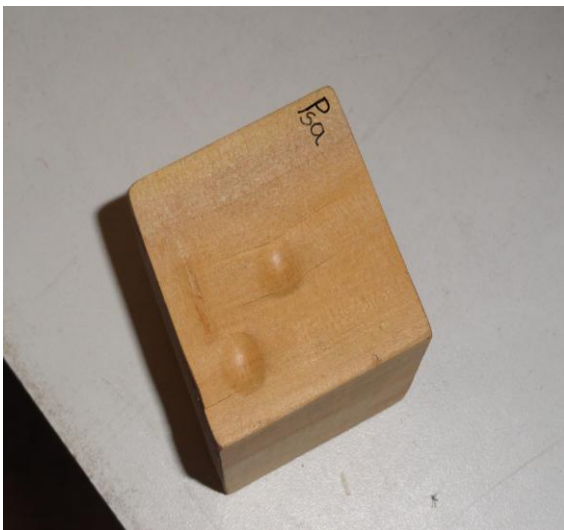
#### Ilustración 4.- Ensayo de dureza



Esfera de acero de 10mm



Aplicación de cargas constante



Huellas de sección circular

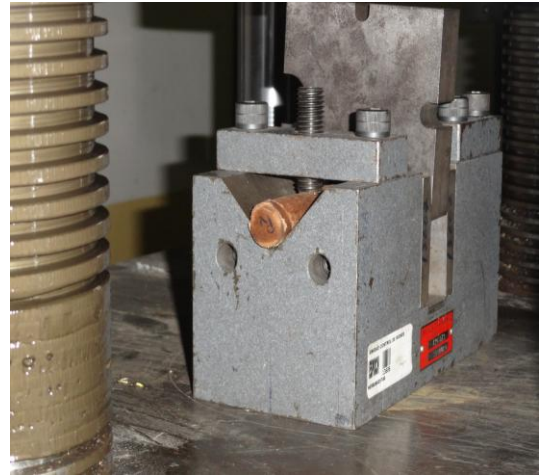


medición de la marca dejada por el indentor

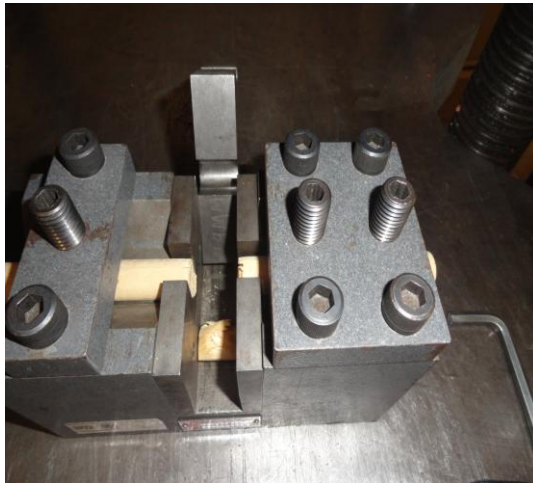
**Ilustración 5.- Ensayo de corte o cizallamiento**



Cámara de corte y punzón



Aplicación de cargas



Corte de la probeta



**Ilustración 6.- Ensayo de compresión paralela al grano**



Deformimetro con apreciaciones de 0.01mm





Aplicación de cargas y registro de datos

**Ilustración 7.- Ensayo de compresión perpendicular al grano.**



Lamina de acero de 5mm de espesor

Deformimetro con apreciaciones de 0.01mm



Deformación de la probeta

### Ilustración 8.- Ensayo de tracción



Mordazas de sujeción del tensómetro



Aplicación de cargas graduales



Ruptura de las probetas

### Ilustración 9.- Probetas utilizadas en las pruebas físicas y mecánicas



## **Anexo 16. Glosario**

**Agua higroscópica o agua límite.-** El agua que se encuentra contenida dentro de las paredes celulares que se absorbe de la atmósfera.

**Albura.-** Madera de la sección externa del tronco, de color más claro. Es la zona más viva, saturada de sabia y sustancias orgánicas. Se transforma con el tiempo en durámen.

**Anisotropía.-** Dado que la madera es un material formado por fibras orientadas en una misma dirección, es un material anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado, si no que varían en función de la dirección en la que se aplique el esfuerzo. Se consideran tres direcciones principales con características propias:

**Asimétrica.-** falta de simetría

**Caducifolios.-** árboles y arbustos de hoja caduca

**Cámbium:** capa formada por un conjunto de células, responsables del crecimiento del tronco, y que se sitúa entre el floema y el xilema.

**Cápsula.-** fruto seco y hueco, que contiene las semillas.

**Celulosa.-** es el principal carbohidrato de la madera es la celulosa, que en muchos aspectos es análoga químicamente a la celulosa del algodón purificada.

**Coriáceas.-** de consistencia dura

**Corteza exterior.** - es la capa protectora del tronco, y está formada por tejido muerto.

**Corteza interna.-** está formada por tejido vivo y transporta, en sentido descendente, hasta las raíces, los alimentos fabricados en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El floema puede tener fibras de líber, que son muy fuertes, y en algunas especies constituyen la materia prima de la que se obtienen fibras comerciales.

**Dirección axial.-** Paralela a las fibras y por tanto al eje del árbol. En esta dirección es donde la madera presenta mejores propiedades.

**Dirección radial.-**Perpendicular al axial, corta el eje del árbol en el plano transversal y es normal a los anillos de crecimiento aparecidos en la sección recta.

**Dirección tangencial.-** Localizada también en la sección transversal pero tangente a los anillos de crecimiento o también, normal a la dirección radial.

**Duramen.-** madera de la parte interior del tronco. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación.) De coloración, a veces, más oscura que la exterior. Madera adulta y compacta. Es aprovechable.

**Esfuerzo.-** se entiende por esfuerzo, la fuerza o carga aplicada por unidad de área .Esto se expresa en kgf/cm cuadrados.

**Fibra.-** disposición de los elementos constitutivos de la madera en dirección longitudinal. Se conoce también por “hilo” o “grano”.

**Grano.-** es la dirección que tienen los distintos elementos anatómicos respecto al eje del tronco, e influirá en las propiedades mecánicas de la madera y en la facilidad de trabajar con ella.

**Grano recto.-** cuando los elementos se sitúan paralelos al eje del árbol. La madera con este tipo de grano presenta buena resistencia mecánica y facilidad de trabajo.

**Grano inclinado.-** Los elementos forman ahora un cierto ángulo con el eje del árbol, y ahora la madera tendrá peor resistencia mecánica y mayor dificultad de trabajo.

**Grano entrecruzado.-** Los elementos también se disponen formando un ángulo con respecto al eje, pero ahora en cada anillo es en forma opuesta. Las maderas de este tipo presentan dificultades para su trabajo.

**Grano irregular.-** Los elementos se disponen de forma irregular, siendo este tipo de grano el que se encuentra en los nudos, ramificaciones del tronco, zonas heridas, etc.

**Hemicelulosa.** Esta se ha definido como la porción de celulosa que se hidroliza fácilmente.

**Imparipinada.-** hoja pinnada, con un número impar de folíolos.

**Madera.-** Se llama madera al conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza.

**Madera verde.-** se refiere a la madera con un contenido de humedad mayor del 30%. La densidad verde, es la relación entre el peso y el volumen verdes.

**Madera seca al aire.-** se refiere a la madera que ha alcanzado un contenido de humedad en condiciones de secado natural” al aire “. Su valor sería el contenido de humedad que alcanzaría en equilibrio con las condiciones atmosféricas del lugar. En algunas ocasiones se usa el 12% de contenido de humedad como el valor para esta condición, el cual es utilizado internacionalmente para fines de comparación.

**Madera seca al horno.-** se refiere a la madera que se ha secado hasta un contenido de humedad del 12 - 0% o sea madera en estado *anhidro*. La densidad anhidra, es la relación entre el peso y el volumen anhidros.

**Madera anhidra:** presentan un grado de humedad en torno al 3%.

**Médula.-** Parte central del tronco. Constituido por tejido flojo y poroso. De ella parten radios medulares hacia la periferia.

**Módulo.-** es un número o cantidad que mide una fuerza.

**Módulo de ruptura.-** se deriva de ensayos de laboratorio, aplicando cargas crecientes en el centro de un espécimen de madera, soportado en los extremos hasta que esta falla (se rompe).

**Ortogonal.-** perpendicular a la fibra

**Penninervia.-** hojas que poseen las nerviaciones dispuestas en una rama, de la que salen lateralmente las ramas secundarias

**Perennifolios.-** se dice de los vegetales superiores cuyas hojas perduran mas de una época vegetativa y que poseen follaje perpetuo.

**Perianto.-** conjunto de las envolturas estériles de la flor, normalmente constituido por el cáliz, formado por hojas poco transformadas, verdes y la corola, de hojas más transformadas.

**Lignina.-** la lignina es la que actúa como impermeabilizante de las cadenas de celulosa.

**Raquis.-** eje de crecimiento limitado sobre el que se insertan a ambos lados un número determinado de folíolos que constituyen una hoja compuesta.

**Rigidez.-** Este término se refiere a la capacidad de la madera para resistir flexión o doblado.

**Textura.-** tamaño de los elementos anatómicos de la madera.

**Textura gruesa** será cuando los elementos de la madera son muy grandes y se ven fácilmente.

**Textura fina,** estos elementos casi no se diferencian, dando una apariencia homogénea,

**Textura mediana** será una situación intermedia entre las dos anteriores.

**Viga.-** porción horizontal de una estructura, que soporta cargas transversales. Puede estar apoyada en sus dos extremos o sólo en uno.

**Volumen.-** espacio ocupada por un cuerpo, medida de una región tridimensional del espacio ordinario.