

**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel**

*Maestranda*  
**Victor Eduardo Stepaniuk**

**Estabilidad, resistencia mecánica, desgaste y durabilidad de la madera de *Pinus elliottii* saturada en agua con distintos tiempos de inmersión o bajo riego.**

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”  
OTM**

*Director*  
**Mgter. Teresa María Suirezs**

**Posadas, 2016**



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES**

**ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA,  
DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE  
*Pinus elliottii* SATURADA EN AGUA CON  
DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO  
RIEGO**

**VICTOR EDUARDO STEPANIUK**

**Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como  
exigencia parcial de la maestría en Tecnología de la Madera  
Celulosa y Papel.**

**DIRECTORA: Mgter. Teresa María Suiresz**

**2016**

**A mi esposa Fany  
y mis hijos  
Iván y Matías**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la profesora Teresa Suirezs por su apoyo durante la elaboración del trabajo

Al laboratorio de Tecnología de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales

A la empresa Maderas Oberá por el aporte de los materiales para la realización de los ensayos.

A Adelaida Bragañolo y Paola Acevedo, Asistentes del Laboratorio, por colaborar en las etapas de los ensayos.

A los compañeros de la maestría con quienes intercambiamos ideas, y experiencias.

A todos muchas Gracias.

# INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iii
INDICE .....	iv
INDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FOTOS.....	xx
INDICE DE ABREVIATURAS .....	xi
RESUMEN.....	1
PALABRAS CLAVES .....	2
<i>Pinus elliottii</i> , madera bajo riego, propiedades físicas, propiedades mecánicas, durabilidad. ....	2
ABSTRACT .....	3
KEYWORDS .....	4
1 INTRODUCCION .....	5
2 HIPOTESIS.....	10
3 OBJETIVOS .....	10
3.1 Objetivo general: .....	10
3.2 Objetivos particulares:.....	10
3.3 Variables.....	10
4 REVISION BIBLIOGRAFICA .....	11
4.1 Superficies forestales cultivadas de Argentina y Misiones .....	11
4.2 La madera .....	12
4.3 Características microscópicas de las maderas de coníferas.....	12
4.4 <i>Pinus elliottii</i> .....	13
4.5 Propiedades .....	15
4.5.1 Propiedades Físicas .....	15
4.6 Hinchamiento y contracción de la madera .....	19

C = (Le - Lo)/ Le)100.....	20
H = (Le - Lo)/ Lo)100 .....	20
CT = (Ls - Lo)/ Ls)100.....	20
4.7 Coeficiente de contracción .....	21
4.8 Anisotropía de la contracción.....	21
4.9 Punto de saturación de las fibras (PSF).....	22
4.9.2 Ensayos mecánicos .....	27
4.9.3 Flexión estática .....	27
4.9.4 Módulo de rotura a la flexión estática MOR.....	28
4.9.5 Módulo de elasticidad a la flexión estática MOE .....	29
4.9.6 Compresión longitudinal o paralela a las fibras.....	30
4.10 Dureza Janka .....	32
4.11 Desgaste.....	33
4.11.1 Método de maquinas lijadoras de carrera alternativa.....	33
4.12 Durabilidad de la madera.....	34
4.12.1 Descripción de hongos xilófagos .....	34
4.12.2 Determinación de durabilidad.....	35
5 MATERIALES Y METODOS .....	36
5.1 Materiales utilizados.....	36
5.2 Ensayos de las propiedades físicas .....	37
5.3 Ensayos de propiedades mecánicas .....	40
5.4 Equipo y Material de Laboratorio .....	44
5.5 Procesamiento de datos .....	45
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
6.1 Propiedades físicas .....	46
6.2 Densidad anhidra y estacionada .....	47
6.3 Contenido de humedad y punto de saturación de las fibras (PSF).....	48
6.4 Contracciones .....	48
6.5 Propiedades mecánicas.....	53
6.5.1 Flexión estática .....	53
6.5.2 Compresión paralela a las fibras .....	54
6.5.3 Dureza Janka .....	57
6.6 Desgaste.....	59

6.7	Durabilidad.....	60
7	CONCLUSIONES .....	63
8	BIBLIOGRAFIA .....	65
9	ANEXO I, ANALISIS de ENSAYOS .....	70
9.1	Propiedades físicas .....	70
9.2	Contracciones .....	72
	Contracción Radial Total.....	73
	Contracción tangencial total .....	74
10	ANEXO II FOTOS .....	83

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Forestación y uso de bosques implantados por provincia .....	5
Figura 1.2. Especies Implantadas en la Provincia de Misiones. ....	6
Figura 4.1 Estructura microscópica de las coníferas. Fuente: Tortorelli, (1956)(25) .....	13
Figura 4.2: Porcentaje de hinchamiento y contracción de la madera.....	20
Figura 4.3 Factores que influyen en la resistencia mecánica de la madera.....	24
Figura 4.4: Grafico de esfuerzo – deformación. ....	30
Figura 4.5. Probetas para determinar compresión paralela a las fibras. (35); (32) .....	31
Figura 4.6: Probeta para ensayo de dureza Janka. ....	32
Figura 4.7: Probeta para determinar la dureza de la madera Norma ASTM 143/52 .....	33
Figura 5.1 Probetas para determinar contracciones. ....	38
Figura 5.2: Esquema de dimensiones (mm) de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de flexión estática.....	41
Figura 5.3. Probeta de madera de Pino Elliotti para ensayo de compresión paralela a las fibras.....	41
Figura 5.4. Probeta IRAM 50x50x150 mm .....	42
Figura 5.5. Probeta adaptada 50x50x50 mm.....	42
Figura 5.6 Maquina Universal de ensayos electromecánica .....	45
Figura 6.1: Comparación de medias de la densidad básica de los cuatro tratamientos. .	47
Figura. 6.2: Comparación de medias de la contracción total axial de los cuatro tratamientos .....	49
Figura 6.3 Comparación de medias de la contracción total radial. ....	51
Figura. 6.4: Comparación de medias de la contracción total tangencial de los cuatro tratamientos. ....	52
Figura. 6.5. Valores medios de MO a la flexion estatica. ....	54
Figura 6.6. Comparación de medias de los 4 tratamientos .....	55
Figura 6.7. Comparación de medias de los 4 tratamientos .....	56
Figura. 6.8:Comparación de medias de la dureza Janka tangencial para los 4 tiempos de estacionamiento de la madera de <i>Pinus elliottii</i> . ....	57
Figura 6.9 se ven la comparación de medias de los cuatro tratamientos .....	58
Figura 6.10: Comparación de los valores medios de desgaste de los 4 tiempos de inmersión.....	59
Figura 6.11 Comparación de las medias de la pérdida de peso de los cuatro tratamientos .....	60



Figura. 6.12: Comparación de las medias de la pérdida de peso de los cuatro  
tratamientos ..... 61

## INDICE DE TABLAS

### Casos

<b>Tabla 4.1:</b> Relación del porcentaje de pérdida de peso y grado de resistencia. ....	35
<b>Tabla 6.1</b> Valores medios de densidad básica, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos de los cuatro tratamientos. ....	46
<b>Tabla 6.2</b> Valores medio de la densidad anhidra y estacionada para los tiempos de estacionamiento de 0, 7, 14 y 21 días. ....	47
<b>Tabla 6.3</b> Valores de contenido de humedad promedio, desvío estándar (DS) y coeficiente de variación (CV) de los cuatro tratamientos. ....	48
<b>Tabla 6.4</b> Valores de punto de saturación de fibras (P.S.F), desvío estándar (D.S) y coeficiente de variación (C.V) de los cuatro tratamientos. ....	48
<b>Tabla 6.5:</b> Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación de la contracción total axial para los 4 tratamientos. ....	49
<b>Tabla 6.6:</b> Valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación de la contracción total en el sentido radial para los 4 tratamientos. ....	50
<b>Tabla 6.7</b> Valores promedios, desvío estándar coeficiente de variación en el sentido tangencial. ....	51
<b>Tabla 6.8:</b> Coeficiente de anisotropía de las maderas tratadas. ....	52
<b>Tabla 6.9:</b> Valores medios de modulo de elasticidad a la flexión estática de los cuatro tratamientos. ....	53
<b>Tabla 6.10:</b> Valores promedios de módulos de rotura a la flexión estática para los cuatro tratamiento. ....	53
<b>Tabla 6.11:</b> Valores promedios de modulo de rotura a la compresión de los 4 tratamientos. ....	55
<b>Tabla 6.12.</b> Valores promedios de modulo de elasticidad a la compresión de las maderas tratada y no tratadas del <i>Pinus Elliottii</i> . ....	56
<b>Tabla 6.13:</b> Dureza Janka tangencial de la madera de <i>Pinus elliotii</i> testigo y con 7 días, 14 días y 21 días sumergidas en agua. ....	57
<b>Tabla 6.14:</b> Dureza Janka radial de la madera de <i>Pinus elliotii</i> testigo y con 7, 14 y 21 días sumergidas en agua. ....	58
<b>Tabla 6.15:</b> Valores de trabajabilidad. ....	59
<b>Tabla 6.16:</b> Valores promedio de pérdida de peso de la madera de <i>Pinuus Elliottii</i> para los cuatro tratamiento frente a la acción del hongo laetiporus. ....	60
<b>Tabla 6.17:</b> Valores promedio de pérdida de peso de la madera de <i>Pinus Elliottii</i> para los cuatro tratamiento frente a la acción del hongo Ganoderma. ....	61

## **INDICE DE FOTOS**

X

Foto 1. Rollos de muestra para ensayos .....	83
Foto 2. Rollos de muestra para ensayos identificación .....	83
Foto 3. Rollos de muestra para ensayos identificación .....	84
Foto 4. Rollos de muestra para ensayos .....	84
Foto 5. Rollos de muestra para ensayos .....	85
Foto 6. Rollos de muestra para ensayos dentro cámara de secado.....	85
Foto 7. Rollos de muestra Sumergidos .....	86
Foto 8. Rollos de muestra en aserradero .....	86
Foto 9. Obtención de Piezas para las muestras .....	87
Foto 10. Muestra para ensayos dentro de cámara de secado.....	87
Foto 11. Cepillado de las muestras .....	88
Foto 12. Cepillado de las muestras, ambas caras .....	88
Foto 13. Muestras Cepilladas.....	89
Foto 14. Probetas para ensayos .....	89
Foto 15. Probetas de ensayos Dureza Janka y contracciones.....	90
Foto 16. Probetas dureza Janka y contracciones .....	90
Foto 17. Probetas.....	91
Foto 18. Probetas para ensayos .....	91
Foto 19. Probetas para medición de contracción .....	92
Foto 20. Probeta para ensayos.....	92
Foto 21. Probeta para ensayos dureza Janka.....	93
Foto 22. Probeta para ensayos de Flexión.....	93
Foto 23. Probetas ensayos contracción Tangencial .....	94
Foto 24. Probetas, cortes radial, tangencial y Axial.....	94
Foto 25. Rollos de muestra para ensayos dentro cámara de secado .....	95
Foto 26. Pieza para ensayo Dureza Janka .....	95
Foto 27. Ensayo Flexión .....	96
Foto 28. Ensayo Flexión .....	96
Foto 29. Ensayo Flexión .....	97
Foto 30. Estufa para ensayo .....	97
Foto 31. Estufa para ensayo .....	98
Foto 32. Balanza de precisión .....	98
Foto 33. Balanza de precisión .....	99
Foto 34. Medición probeta, ensayos de contracción .....	99
Foto 35. Medición probeta ensayo de contracción.....	100
Foto 36. Medición probeta ensayo de contracción.....	100
Foto 37. Probetas madera testigo .....	101
Foto 38. Probetas madera 7 días .....	101
Foto 39. Ensayo dureza.....	102
Foto 40. Probetas para ensayos contracción .....	102
Foto 41. Ensayos de compresión.....	103
Foto 42. Probetas para ensayos de tracción .....	103

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

- Ac = Anisotropía de la contracción  
b = Base, en cm.  
Br = Contracción radial  
Bt = Contracción tangencial  
C = Contracción del estado estacionado al 12 % de humedad al 0 %.  
Cc = Coeficiente de contracción.  
CH = Contenido de humedad en %  
CT = Contracción total  
CV = Coeficiente de Variación  
De = Densidad estacionada en  $\text{gr}/\text{cm}^3$   
Do = Densidad anhidra en  $\text{gr}/\text{cm}^3$   
DS = Desviación Estándar  
f = Deformación, en cm.  
h = Altura, en cm.  
H% = Humedad de la probeta  
Lp = Longitud de la probeta, en cm.  
L = Longitud entre apoyos, en cm.  
Lo = Longitud anhidra  
Ls = Longitud saturada  
MOE = Modulo de elasticidad, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .  
MOR = modulo de rotura, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .  
P = Carga de rotura, en kg  
P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg  
Pe = Peso estacionado en gr  
Ph = Peso húmedo en gramos  
Po = Peso Anhidro o seco en gramos  
PSF = Punto de saturación de las fibras  
S = Sección de la probeta, en  $\text{cm}^2$   
Ve = Volumen estacionado en  $\text{cm}^3$   
Vo = Volumen anhidro en  $\text{cm}^3$

## RESUMEN

Este trabajo tuvo por objetivo, estudiar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus elliottii* manteniendo los rollizos sumergidos en agua durante 0 días, 7 días, 14 días y 21 días. Para el estudio, se utilizaron doce árboles con dieciséis años de edad con un DAP (Diámetro altura del pecho) medio de 22 centímetros, proveniente de la localidad de San Martín, departamento de Oberá, Provincia de Misiones. La inmersión en agua de los rollos se realizó utilizando piletas existentes en la industria, considerando que este proceso tiene el mismo efecto que si la madera estuviera bajo riego. Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se realizaron según lo establecen, las Normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Para ello se usó una balanza Mettler de precisión, calibres, estufas, desecadores y una Máquina Universal de Ensayos electromecánica, con capacidad de 300 kN y precisión de 0,3 kN. La misma cuenta con accesorios para los ensayos. Los valores obtenidos de las propiedades de las maderas con inmersión de diferente duración fueron analizados y estadísticamente procesados. Del análisis de los resultados se determinó que las propiedades físicas como ser los pesos específicos a distintos porcentajes de humedad no se vieron afectadas por la cantidad de días de inmersión de la madera. Las contracciones, tanto en el sentido tangencial como radial, en las maderas sumergidas son menores, significando esto una ventaja para las mismas, ya que representa una mejora de su estabilidad. Los módulos de rotura (MOR) y elasticidad (MOE), a la flexión estática, presentan diferencias significativas entre la madera sin inmersión y la sumergida en agua.

El módulo de rotura (MOR) a la compresión paralela a las fibras no presentó diferencias estadísticamente significativa entre las maderas tratadas y no tratadas, mientras que el módulo de elasticidad (MOE) presentó diferencias significativa entre madera no tratada y tratada.

La dureza Janka radial y tangencial presentan diferencias estadísticamente significativas entre la madera testigo, sin inmersión, y madera con 21 días de inmersión en agua.

El desgaste presenta diferencias significativas entre tratamientos.

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

En cuanto a la durabilidad, los tiempos de inmersión no influyeron significativamente en la pérdida de peso frente a la acción de las dos especies de hongos empleados en el estudio, quedo demostrado que el *Pinus elliotii* es más susceptible al hongo *Laetiporus* que al *Ganoderma*. En los dos casos la madera testigo presentó mayor valor promedio de pérdida de peso.

2

**PALABRAS CLAVES**

*Pinus elliotii*, madera bajo riego, propiedades físicas, propiedades mecánicas, durabilidad.

## **ABSTRACT**

This work was focused to determine how the physical and mechanical properties of *Pinus elliotii* wood are affected when the logs were submerged in water during different periods of time 0, 7, 14 and 21 days. The raw material used for this study was twelve 16-year-old trees from the San Martín area department of Oberá, in Misiones province, having an average diameter of 32 cm at breast height (DBH).

Existing in the industry pools were used to place the logs under water. The effect of these treatments was considered equivalent of keeping the logs under spraying conditions. Physical and mechanical properties of Wood were determined according to technical standards of IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). To perform the tests of this study were used: a Mettler precision scale, calipers, drying ovens, desecators, and an electromechanical Universal Testing Machine, with 300 kN capacity and 0,3kN precision.

Obtained results were statistically tested and analyzed. A later analysis of the results showed that some physical properties, such as specific weight at various moisture contents, do not depend on how many days the log was submerged in water. The logs that were placed underwater for 7,14 and 21 days showed less tangential and radial shrinkage compared with the rolls not placed 0 days in water. This may be considered an advantage because of the enhancement of the stability achieved. Significant differences were determined among the logs without treatment compared to the logs placed in water regarding to modulus of rupture MOR, and modulus of elasticity MOE in flexion. No significant differences were found in compression strength parallel to grain.

Significant differences were found between untreated logs and those placed under water for 21 days in regarding to radial and tangential Janka Hardness.

Workability showed significant difference among treatments.

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

Regarding, Wood durability; the periods of time that the logs were placed under water had no effect on the loss of weight caused by fungi. The effect of *Laetiporus* and *Ganoderma* was tested. In both cases logs placed under water for 0 days (reference wood) showed an average higher loss of weight than after any of the other treatments.

4

**KEYWORDS**

*Pinus elliotii*, wood under irrigation, physical properties, mechanical properties, durability.



## 1 INTRODUCCION

La superficie forestada de la Argentina, (Figura 1.1) al año 2002 era de 1,11 millones de hectáreas. El ritmo de plantación posterior no fue uniforme y desde el año 1997 el mismo ha crecido sostenidamente respaldado por la llegada de nuevos inversores en el sector, fundamentalmente desde Chile, y por el impulso que ha dado la Ley 25.080 que da un marco de promoción para el sector por un lapso de 10 años.(1).

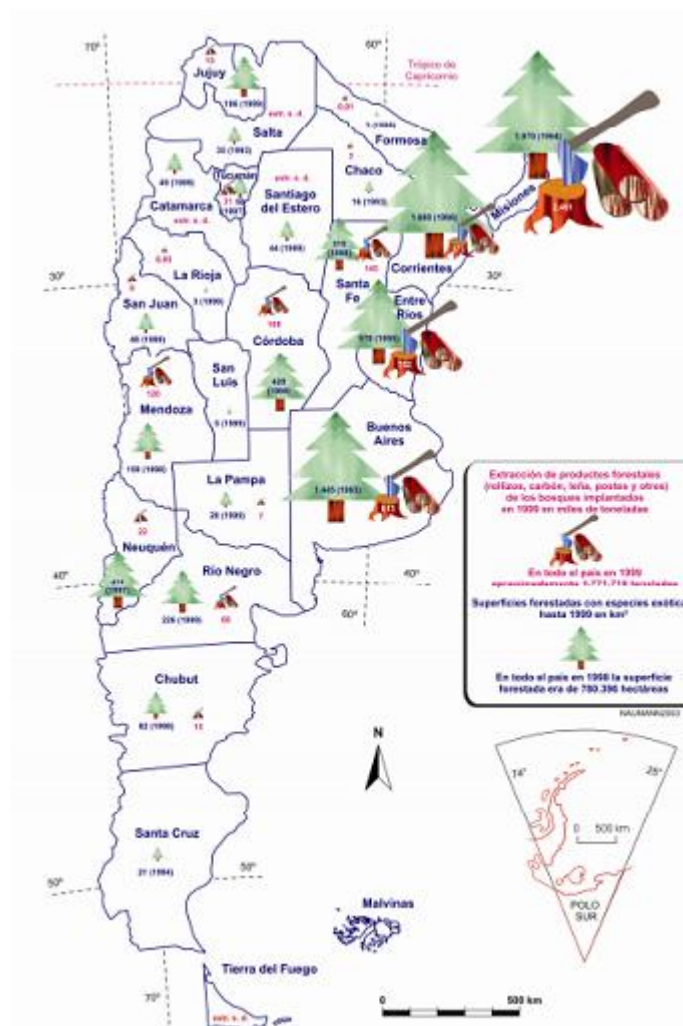


Figura 1.1. Forestación y uso de bosques implantados por provincia SGAPyA.

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

Los bosques implantados en Misiones están constituidos principalmente por especies de rápido crecimiento, coníferas: *Pinus elliotii*, *P. taeda*, *P. caribaea*, *Araucaria angustifolia* (nativa). Latifoliadas: *Eucalyptus dunnii*, *E. saligna*, *E. grandis*, *Grevillea robusta* y en menor medida, Cañafistola (*Peltophorum dubium*), Guatambú (*Balaphorodendron riedelianum*), loro blanco (*Bastardiopsis desinflora*). En nuestro país, la provincia de Misiones tiene la mayor concentración de pinos implantado del país 83%, se han implantado 302.383 hectáreas del genero *Pinus* (*P. elliotii* y *P. taeda*), (4)

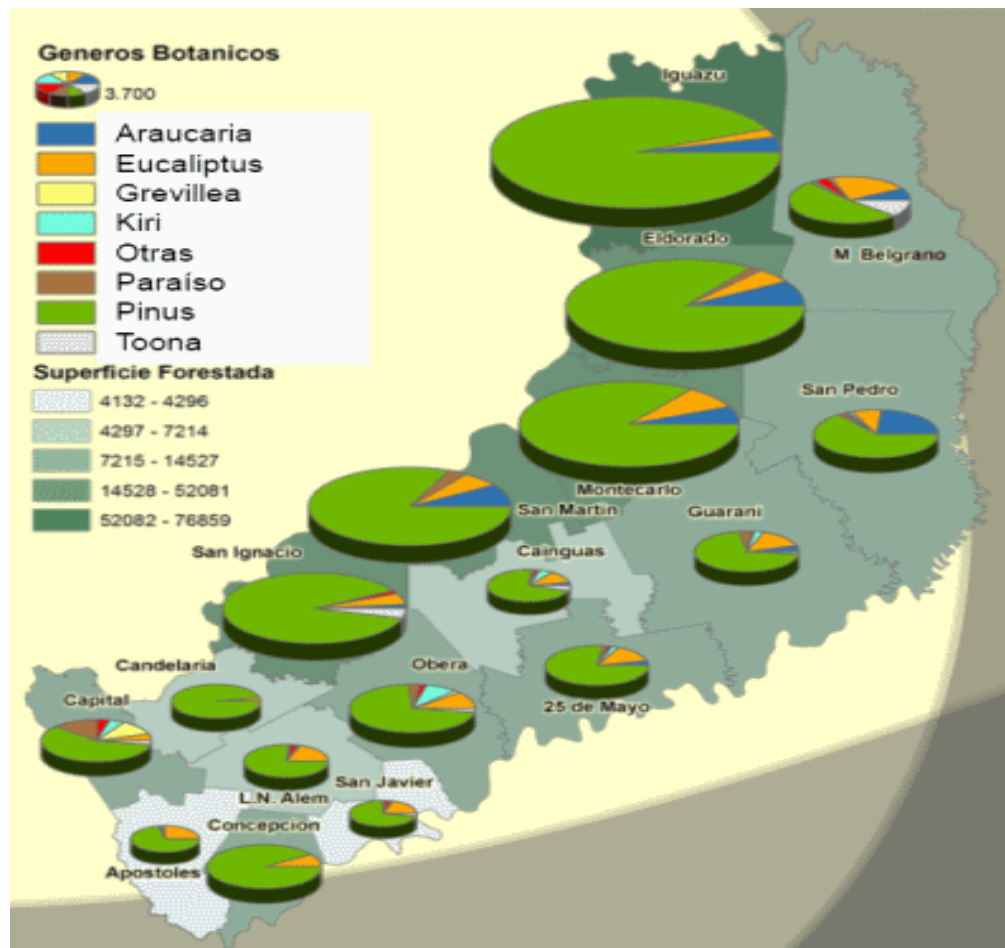


Figura 1.2. Especies Implantadas en la Provincia de Misiones.

Fuente: SIFIP, 2009 <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario.htm>

La economía de la provincia de Misiones, se basa principalmente en la actividad foresto industrial y en la agricultura. La provincia cuenta actualmente con un total de 384.000

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

ha de plantaciones forestales, en su mayoría de coníferas (pinos y Araucaria), 165.000 ha se encuentran en la zona norte centro, principalmente en los departamentos de Eldorado, Iguazú y Montecarlo. Estas zonas tienen un alto potencial para la producción forestal. Las condiciones climáticas y edáficas son óptimas para el crecimiento de una diversidad de especies forestales con aptitud de uso industrial. Los pinos son las especies menos exigentes y pueden lograr buenos rendimientos comerciales en diferentes suelos, (2) ;(3).

La especie tenida en cuenta en este estudio es implantada en la zona con resultados altamente satisfactorios en cuanto a desarrollo volumétrico, rápido crecimiento, y adaptación a las condiciones climáticas. (4). Un gran aliciente para el cultivo de las mismas es el que se encuentren bajo el régimen de incentivos Ley Nacional 25080.(5) Actualmente existe la predisposición por parte del Estado Provincial y Nacional de incentivar las construcciones de madera, todo esto hace que se necesiten más estudios básicos acerca de sus cualidades, especialmente sobre su duración en servicio sin ningún tratamiento de preservación, a los efectos de minimizar el uso de productos químicos perjudiciales para la salud.

La provincia de Misiones se caracteriza por poseer una importante actividad foresto-industrial con existencia de bosques de maderas potencialmente aptas para la construcción.(6)

Considerando que la especie *Pinus elliotii* es la conífera que más se implanta y se procesa en el mundo por su alta productividad en madera, cerca de 12 millones de has, principalmente en EEUU seguido de Brasil, Argentina y Uruguay, siendo menos importante su cultivo en países como Sudáfrica y Australia, (7)

En Argentina, existe la posibilidad de orientar parte de la producción de rollizos hacia uso estructural, sin embargo el conocimiento que se tiene del impacto de la edad, los tratamientos silvícolas sobre las propiedades de la madera es escaso y otros como la forma de almacenar los rollos en la planchada son inexistentes.

La madera siendo un valioso recurso natural, debe ser aprovechada en la mejor forma para lograr rendimientos más económicos. El empleo de la madera para un uso

determinado depende principalmente de sus propiedades físicas, mecánicas, características que se modifican, en distinto grado (degradación de la madera), con el transcurso del tiempo. (8)

La madera es degradada biológicamente porque los organismos reconocen los polímeros de hidratos de carbono (principalmente las hemi-celulosas) en la pared celular y tienen sistemas enzimáticos muy específico capaz de hidrolizar los polímeros en unidades digeribles. Los agentes de destrucción biológica más importantes son los hongos xilófagos responsables de la pudrición de más del 80% de la madera puesta en servicio, (9). Las maderas no resisten de igual manera el ataque fúngico. La durabilidad o vida útil de las mismas depende de las características anatómicas del leño, de la presencia de extractivos, del tratamiento de preservación realizado y de las condiciones de uso.(10)

Clement, 1990; citado por Sandoval, (11) manifiesta que la durabilidad natural nos conduce al conocimiento de los compuestos químicos que confieren toxicidad natural a las maderas, permitiéndonos aislar y diseñar reacciones para biosintetizarlos en laboratorio.

La madera, como material orgánico es susceptible el ataque de hongos, algunos de los cuales consumen a la estructura principal de la madera, originando pudrición, y otros que consumen ciertos elementos presentes en la madera, dando lugar a mohos o manchas, pero que no alteran su resistencia mecánica. Para que los primeros puedan prosperar, es imprescindible que la madera tenga más de 25 a 30 % de humedad, mientras que los segundos pueden crecer a partir de que las maderas tengan 20% de humedad, lo cual es posible con una humedad ambiente de 90%. En términos prácticos, con humedades ambientales inferiores a 85%, no hay riesgos de ataques de hongos (9).Ante la acción de agentes micóticos las distintas maderas presentan diferente resistencia. Esto se debe a su estructura y a las proporciones de sustancias químicas contenidas en los tejidos leñosos, variables según la especie, la edad del árbol y las condiciones de desarrollo (12).

La durabilidad natural comprende aquellas características de resistencia que posee la madera sin tratamiento frente al ataque de hongos, insectos, perforadores marinos y otras causas (13; 14). Normalmente se mide como el tiempo en años durante el que una

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA  
MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE  
INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

madera es capaz de mantener sus propiedades mecánicas estando en servicio empotrada en contacto con el suelo o el agua. La mayoría de las maderas tiene una durabilidad diferente frente a los diversos organismos que la pueden degradar.

9

Cabe acotar que si bien, como se ha mencionado, el término durabilidad se refiere a la capacidad natural de la madera para resistir al ataque de hongos, insectos, desgaste mecánico, fuego o acción de los agentes atmosféricos; dada la preponderante participación de los hongos sobre los otros agentes destructores, la durabilidad se define generalmente como la resistencia de la madera a las pudriciones o acción micótica (15, 16)

El objetivo del presente estudio, fue medir la estabilidad, resistencia mecánica, desgaste y durabilidad de la madera de *Pinus elliotii* sumergida en agua y comparar con la madera testigo. Se espera que los resultados contribuyan a un mayor conocimiento en el área de las propiedades de la madera y sus productos.

El conocer en profundidad la afectación de la forma de almacenarlo antes de ingresar al aserradero va hacer de suma relevancia para su manejo.

## **2 HIPOTESIS**

10

La permanencia de rollos de pino bajo agua altera las propiedades físicas y mecánicas de los productos aserrados.

Cuanto mayor sea el tiempo de permanencia bajo agua, mejor será la estabilidad, desgaste y durabilidad de la madera.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general:**

Evaluar la estabilidad, desgaste y durabilidad de la madera aserrada proveniente de rollo *Pinus elliotii* con bajo distintos tiempos de inmersión en agua y su incidencia en las propiedades mecánicas.

### **3.2 Objetivos particulares:**

- Determinar las propiedades físicas: Contracción e hinchamiento. Coeficiente de contracción. Coeficiente de anisotropía, Densidad.
- Determinar los módulo de rotura MOR y modulo de elasticidad MOE a la flexión estática y compresión paralela a las fibras.
- Determinar la dureza Janka.
- Correlacionar las propiedades física y mecánica con el tiempo bajo riego de los rollos.

### **3.3 Variables**

#### **A- Independientes**

- Permanencia en agua.

#### **B- Dependientes**

- Contracción, densidad y humedad.
- Modulo de rotura, modulo de elasticidad a la flexión estática y compresión dureza Janka

## **4 REVISION BIBLIOGRAFICA**

### **4.1 Superficies forestales cultivadas de Argentina y Misiones**

La implantación de bosques comienza a tener auge en la Argentina, en la década del 40 y hoy cubren una superficie de 1.200.000 hectáreas. La provincia de Misiones cuenta con 384.000 hectáreas de plantaciones forestales, en su mayoría coníferas (pinos y araucaria). El 55% de los pinos del país corresponden a Misiones. (17)

Misiones es la provincia forestal más importante aportando entre el 35 - 50 % de la producción de madera anual del País. (6)

*Pinus elliotii* Engelm. Clase: Coníferas. Familia: Pináceas.

Originario del área cálida y húmeda del Sudeste de los Estados Unidos de Norteamérica, presenta gran adaptabilidad y plasticidad dado que se cultiva en regiones de nuestro país con condiciones muy disímiles, prácticamente toda la región Centro-Norte. Se lo planta en los terrenos elevados y húmedos del Delta del Paraná con excelente desarrollo, alcanzando 30-40 m<sup>3</sup>/ha/año; también es objeto de intensa forestación en todo el litoral mediterráneo, en Corrientes, Misiones, Entre Ríos y Santa Fe, donde se lo cultiva con señalado éxito. Soporta satisfactoriamente los extremos de temperaturas, no es sensible a las heladas ni a los fuertes calores. Necesita para su buen desarrollo la presencia de hongos micorrízicos (micorrizas) en el suelo. Su madera presenta albura de color blanco-amarillenta y el duramen amarillo-ocre, con brillo opaco ligeramente lustroso, olor resinoso, textura fina y homogénea, grano derecho y vetado a veces pronunciado. La madera seca al aire acusa una densidad de 0,47 kg/dm<sup>3</sup>. Sus contracciones son bajas y se comporta como dimensionalmente estable en obra. El material aserrado estaciona sin problemas, aunque es muy sensible al ataque de hongos productores de manchas. Se aconseja un secado rápido y tratamiento fungicida. Es poco durable en contacto con el suelo, pero se impregna muy fácilmente en la albura y en forma regular en el duramen. Es madera blanda, liviana, fácil de trabajar en la sierra, cepillo y moldurera. Se clava y atornilla con facilidad, aunque con limitaciones de adherencia si el elemento metálico se fija en la porción temprana del anillo de crecimiento. No toma muy bien las pinturas, especialmente en material notoriamente resinoso. Se emplea para pastas celulósicas, paneles de partículas aglomeradas, carpintería de obra, envases en general. (46)

## **4.2 La madera**

La madera es un compuesto orgánico y altamente heterogéneo, su estructura está formada por diferentes tipos de células con paredes y espesores variados según las especies. (19)

Las propiedades que poseen las maderas están vinculadas a la disposición y orientación de los materiales que componen la pared celular y su composición química. (20)

Esau, citado por Muñiz (1993), (21) afirma que las propiedades físicas de las maderas y su aptitud para el uso comercial dependen de la composición del leño, de la estructura y de la organización de sus elementos.

## **4.3 Características microscópicas de las maderas de coníferas**

Las maderas de coníferas están constituidas principalmente por traqueidas longitudinales que ocupan un volumen de 90 a 94% de la madera. Estas células, en conjunto con un pequeño número de otras células (traqueidas en series verticales, parénquima longitudinal y células epiteliales), que pueden o no estar presentes, comprenden el sistema vertical o longitudinal de la madera. El sistema transversal consiste principalmente de radios parenquemáticos y un pequeño número de traqueidas y células epiteliales que son encontradas en algunas especies. De manera simplificada, la madera presenta dos sistemas interrelacionados, que son el sistema longitudinal compuesto de traqueidas no vivas y un sistema transversal, los radios conformados por células parenquemáticas vivas.(22)

Las traqueidas longitudinales del leño temprano son de mayor diámetro, tienen paredes celulares más delgadas y lúmenes mayores que las del leño tardío. Las paredes de ambos están caracterizadas por la presencia de puntuaciones areoladas con torus, estructuras que permiten la circulación de los líquidos entre traqueidas. La longitud, superposición de los extremos y las puntuaciones areoladas con torus de las traqueidas ofrecen un paisaje ideal para la circulación de líquidos, y sus paredes rígidas son muy efectivas para cumplir la función de conducción y sostén en el árbol vivo. Las células parenquemáticas vivas, son considerablemente más pequeñas que las traqueidas longitudinales, cumplen la función de reserva, sus paredes delgadas poseen puntuaciones simples con membranas perforadas.(24)



En la Figura 4.1 se pueden ver las distintas caras con la disposición de los elementos constitutivos de una conífera

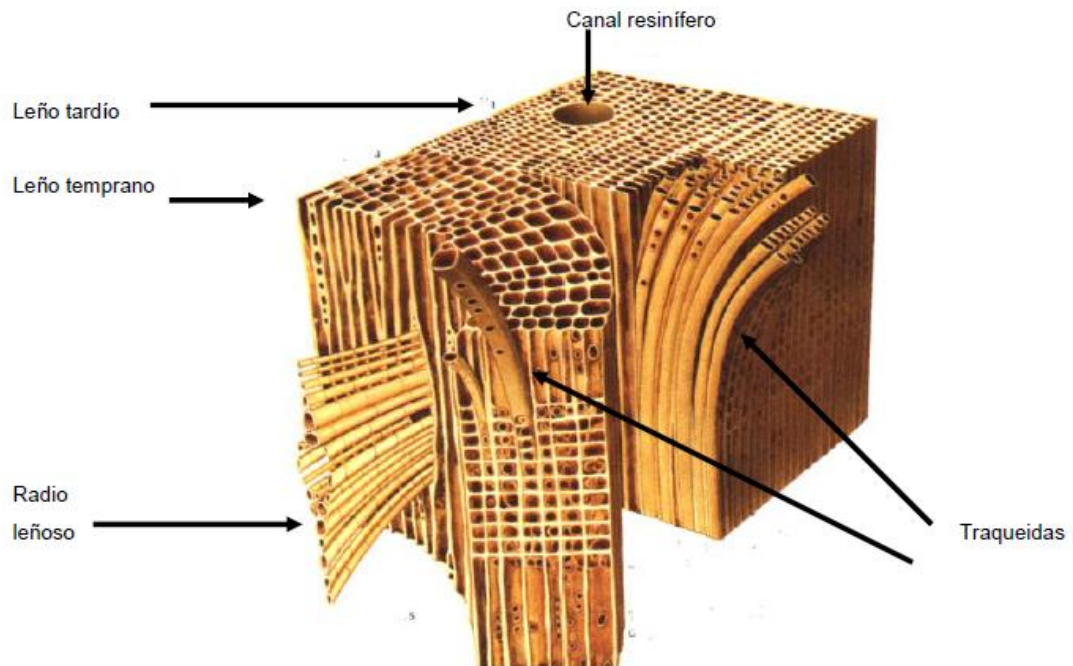


Figura 4.1 Estructura microscópica de las coníferas. Fuente: Tortorelli,(1956)(25)

La madera es un material orgánico con la particularidad de ser compleja y variable, su estructura está formada por diferentes tipos de células con paredes de espesores variados y disposiciones distintas según las especies lo que explica su naturaleza heterogénea y anisótropa. (20)

Esau, citado por MUÑIZ (1993), (21) afirma que las propiedades físicas de las maderas y de su aptitud para el uso comercial dependen de la composición del leño, de la estructura y de la organización de sus elementos.

#### **4.4 Pinus elliotii**

La madera del *Pinus elliotii* (pino ellioti) presenta albura blanco amarillenta y duramen amarillo-ocre. Es de grano derecho, textura fina y homogénea, con vetado pronunciado. Su densidad es de 0,51 g/cm<sup>3</sup>. La madera de esta especie se utiliza en carpintería, compensados, encofrados. Poco durable frente a la acción de hongos

xilófagos, susceptible al ataque de insectos. Respecto a la receptividad de impregnantes es medianamente penetrable (25)

González (18) estudio la madera de *Pinus elliotii* Eng., y obtuvo valores promedios de peso específico básico 0,44 g/cm<sup>3</sup> y peso específico aparente estacionado 0,54 g/cm<sup>3</sup>. Contracciones totales radial y tangencial de 4,05 % y 5,48 % consecutivamente. Módulo de rotura: 920 kg/cm<sup>2</sup> y módulo de elasticidad: 52416 kg/cm<sup>2</sup> a la flexión estática. Dureza Janka, transversal: 432 kg/cm<sup>2</sup>, tangencial: 384 kg/cm<sup>2</sup> y radial: 344 kg/cm<sup>2</sup>.

Muñiz, (21) estudio en su trabajo de tesis a la madera de *Pinus elliotii* Eng. reforestado en Itatí, Estado do Paraná Brasil, de 30 años de edad al 100% de altura encontrando como valor medio del peso específico básico 0,42 g/cm<sup>3</sup> y peso específico aparente de 0,518 g/cm<sup>3</sup>. Contracciones totales, axial 0,245 %, radial 3,77 % y tangencial 6,57 %. Módulo de rotura a la flexión estática, 784.72 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad a la flexión estática, 123.870,75 kg/cm<sup>2</sup>. Módulo de rotura 434,56 kg/cm<sup>2</sup> y módulo de elasticidad 126.691,75 kg/cm<sup>2</sup>, ambos a la compresión paralela a las fibras.

Sparnochia, (26) al estudiar las propiedades físico-mecánicas de *Pinus elliotii*, de 21 años de edad, obtuvo valores promedios del peso específico aparente básico de 0,516 gr/m<sup>3</sup>, módulo de rotura y módulo de elasticidad a la flexión estática de 739,5 y 77.041,7 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Módulo de rotura y de elasticidad a la compresión paralela a las fibras de 364,17 kg/cm<sup>2</sup> y 100.819 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Suirezs (27), al estudiar las propiedades de la madera de *Pinus elliotii* Eng. de 13, 16 y 18 años de edad, obtuvieron valores medios del peso específico aparente estacionado de 0,36, 0,48 y 0,56 gr/cm<sup>3</sup>, respectivamente para cada edad. Modulo de rotura a la flexión estática: 694,93, 1018,09; 1050,91 kg/cm<sup>2</sup> y modulo elasticidad de 45.637,39, 62.167,78, 95.035 kg/cm<sup>2</sup> para 13, 16 y 18 años de edad en ese orden. Los módulos de rotura a la compresión paralela a las fibras fueron de 289,46, 322,32, 423,72 kg/cm<sup>2</sup> para 13, 16 y 18 años de edad respectivamente.

## **4.5 Propiedades**

Las propiedades tecnológicas de la madera, tienen por finalidad prever el comportamiento de la misma o de un elemento estructural para el uso al que será destinado. Las propiedades físicas, son aquellas que determinan su comportamiento, ante los factores que intervienen en el medio ambiente natural, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna. Las propiedades mecánicas indican el comportamiento, cuando sobre la madera actúan cargas o sollicitaciones exteriores, refiriéndose principalmente a las deformaciones. El estudio de estas propiedades tiene gran importancia, en las diferentes aplicaciones de la madera. (28)

### **4.5.1 Propiedades Físicas**

Tienen por objeto el estudio de las características y leyes que rigen los fenómenos en el interior de la madera y que no modifican la estructura íntima de las mismas. Dependen de los siguientes factores: La disposición y orientación de los materiales, que conforman las paredes celulares; la cantidad de sustancias básicas que forman la pared celular, los porcentajes de sustancias estructurales o de material celulósico que contiene el leño, la composición química de las sustancias básicas, la cual explica muchas diferencias cuantitativas en el comportamiento de la madera, y contenido de agua que se encuentra presente. (29), (20)

#### **4.5.1.1 Densidad o peso específico aparente de la madera**

La densidad es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, porque de ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas, en la práctica sirve para clasificar a las maderas. En general se puede decir que las maderas más densas son más resistentes, elásticas y duras que las menos densas, pero son de más difícil desgaste y pueden presentar mayor variación volumétrica. El desgaste se refiere a la facilidad de lijado, moldurado y perforado de una madera. Estas propiedades, tienen por objeto el estudio de las características y leyes que rigen los fenómenos en el interior de la madera y que no modifican la estructura íntima de las mismas. (28)

La densidad es la relación entre la masa (m) en g, y el volumen (V) en  $\text{cm}^3$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Es decir que la densidad es la cantidad de material leñoso por unidad de volumen. Como en los laboratorios, el peso y la masa se determinan de la misma forma, por medio de balanzas, se acepta que la masa es igual al peso, ( $m=P$ ), obteniéndose la expresión de densidad:  $D=P/V$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). La densidad o peso específico aparente de una madera es la relación entre el peso y su volumen, incluyendo el volumen de los poros que contiene la madera, medidos en las mismas condiciones de humedad.

Según Kollmann, (29) las variaciones de la densidad básica pueden ser tan acentuadas en el sentido longitudinal del árbol, que se pueden sugerir diferentes clases de calidad solo en función de la posición del origen de las piezas.

Como la densidad de las maderas varía de 0,1 a 1,4  $\text{g}/\text{cm}^3$ , según -Coronel, (28), y Kollmann (29), podemos clasificarlas en:

		$\text{g}/\text{cm}^3$
1	Muy Livianas, de	0,100 a 0,350
2	Livianas, de	0,351 a 0,550
3	Semipesadas, de	0,551 a 0,750
4	Pesadas, de	0,751 a 1,000
5	Muy pesadas, más de	1,000

#### **4.5.1.2 Humedad de la madera**

Un árbol recién cortado, contiene gran cantidad de agua, variando su contenido según la época del año, la región y la especie. Las maderas más livianas por ser más porosas contienen mayor cantidad de agua libre, que las maderas pesadas. El agua se encuentra en tres diferentes formas en la madera:

1- Agua libre: Se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares. Esta agua se pierde por evaporación ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, una vez eliminada el agua libre, en ese momento la madera se encuentra en

el punto de saturación de las fibras, que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32 %, en el cual, las paredes celulares están completamente saturadas.

Durante la fase de eliminación del agua libre, la madera no experimenta cambios dimensionales ni alteraciones en sus resistencias mecánicas.

2- Agua higroscópica: También llamada agua de imbibición o agua de impregnación, es aquella que se encuentra impregnando las paredes celulares y una vez que haya perdido toda el agua libre comienza a perder el agua de imbibición hasta llegar a un equilibrio higroscópico que está entre el 8 % y 18 % de humedad, dependiendo del clima del lugar.

En esta fase la madera sufre variaciones en sus dimensiones y resistencias mecánicas.

3- Agua de constitución: Es la que forma parte de la estructura química de las paredes celulares. Se puede eliminar con la destrucción de la madera.

La humedad de la madera influye en:

Propiedades físicas

Resistencia mecánica

Resistencia al ataque de agentes biológicos

Elaboración de productos

Rendimiento y calidad de celulosa

Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua expresada en por ciento de peso seco en estufa a  $103 \pm 2$  °C. (28)

#### **4.5.1.3 Métodos para determinar el contenido de humedad en la madera**

Existen diferentes métodos para determinar el contenido de humedad en la madera.

1- Método secado en estufa o por pesadas

2- Métodos eléctricos (Con instrumentos que funcionan por resistencia eléctrica).

3- Método por destilación o extracción

4- Método colorimétrico

5- Método de titulación

6 -Método higrométrico

7- Método de expulsión directa del agua por presión

#### **4.5.1.4 Por secado en estufa o pesadas**

Este método presenta buena exactitud y se encuentra referenciado en la Norma IRAM N° 9532 (30) se debe evaporar el agua y luego calcular por diferencia de pesos.

El contenido de humedad en la madera se define como la diferencia entre el peso en estado húmedo y el peso seco obtenido en la estufa a 103 +- 2 °C relacionados con el peso seco. Ecuación 3.1, con probetas de 2x2x2 cm. Sin embargo, puede determinarse la humedad de la madera con trozos de cualquier dimensión. En la práctica generalmente se toman algunos trozos de la madera que se quiere conocer la humedad y se coloca en estufa hasta peso constante Ecuación 3.2. Utilizándose las ecuaciones que establece las normas IRAM (30).

$$\text{CH \%} = \frac{\text{Ph} - \text{Po}}{\text{Po}} \times 100 \quad \boxed{\text{Ec. 4.1}}$$

$$\text{CH \%} = \frac{\text{Ph} - \text{Po}}{\text{Ph}} \times 100 \quad \boxed{\text{Ec. 4.2}}$$

Donde:

CH = Contenido de humedad en %

Ph = Peso húmedo en gramos

Po = Peso Anhidro o seco en gramos

#### **4.5.1.5 Métodos eléctricos**

Son los más utilizados en la actualidad, y como su nombre lo indica, se basan en la resistencia que la madera ofrece al pasaje de una corriente eléctrica continua. Esta resistencia es muy variable según el tenor de la humedad de la madera, y estas diferencias se escalonan de tal manera que para un pequeño aumento o disminución del contenido de humedad, la resistencia eléctrica disminuye o disminuye, respectivamente de modo apreciable y fácilmente observable en los aparatos de medición, en donde las lecturas pueden ser efectuadas directamente en grados de humedad, en lugar de las unidades de resistencia eléctrica.

#### **4.5.1.6 Por destilación o extracción**

Este método también está indicado en la Norma IRAM 9532 (30), y es especialmente utilizado en maderas que contienen resinas o aceites esenciales.

Consiste en colocar 10 gramos de astillas de madera, en un recipiente de vidrio con aproximadamente 250 cm<sup>3</sup> de un disolvente insoluble en agua (xilol, tolueno, tetracloro-etano, etc.). Sobre el recipiente se coloca un condensador de vapores, conectado a un medidor de volumen, graduado en cm<sup>3</sup>, y en la base del recipiente de vidrio se coloca una fuente de energía, al calentarse el recipiente, los vapores se condensan en el dispositivo refrigerante, el destilado se recoge en el tubo graduado, donde se separan el agua y el disolvente en dos capas debido a sus diferentes pesos específicos. El proceso debe seguir hasta que el volumen de agua sea constante, (tiempo aproximado 6 horas).

El peso del agua en gramos es igual al volumen ocupado en cm<sup>3</sup> o ml.

La humedad se determina con la siguiente ecuación 4.3:

$$\text{CH \%} = \frac{\text{Peso en gr. del agua recogida}}{\text{Peso inicial de las astillas} - \text{peso en gr del agua recogida}} \times 100$$

Ec. 4.3
------------

### **4.6 Hinchamiento y contracción de la madera**

El hinchamiento es el aumento del volumen de la madera desde el estado seco hasta el punto de saturación de las fibras (PSF). A partir del PSF el volumen de la madera permanece estable y aumenta su contenido de humedad. La contracción es la disminución del volumen de una pieza de madera, al perder humedad, por debajo del punto de saturación de las fibras, hasta el estado anhidro. En la Figura 4.2 se presentan las curvas de hinchamiento y contracción. (8)

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

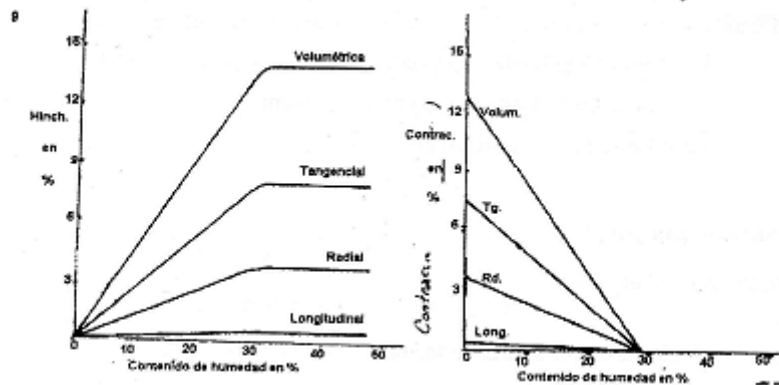


Figura4.2: Porcentaje de hinchamiento y contracción de la madera

En las determinaciones de las contracciones e hinchamientos se utilizan probetas de 2x2 centímetros de sección por 5 centímetros de longitud como indica la Norma IRAM N° 9543, (31). Las probetas deben cortarse de manera que puedan ser medidas las contracciones e hinchamiento en los sentidos tangencial, radial y axial o longitudinal. Se estudian las contracciones e hinchamientos totales y desde el estado estacionado al anhidro. Para calcular las contracciones e hinchamientos se utilizan las siguientes ecuaciones:

**Contracción:** (del estado estacionado al anhidro)

$$C = (L_e - L_o) / L_e \cdot 100$$

**Hinchamiento:** (del estado anhidro al estacionado)

$$H = (L_e - L_o) / L_o \cdot 100$$

Siendo:

C = Contracción, en porcentaje.

H = Hinchamiento, en porcentaje.

L<sub>e</sub> = Longitud en estado estacionado, en cm.

L<sub>o</sub> = Longitud anhidra, en cm.

**Contracción total:**

$$CT = (L_s - L_o) / L_s \cdot 100$$

**Hinchamiento total:**

$$HT = (L_s - L_o) / L_o \cdot 100$$



Siendo:

- Ct = Contracción total, en porcentaje.
- Ht= Hinchamiento total, en porcentaje.
- Ls = Longitud saturada, en cm.
- Lo = Longitud anhidra, en cm.

#### **4.7 Coeficiente de contracción**

El coeficiente de contracción o retracción nos indica la variación dimensional que sufre la madera desde el estado anhidro (seco) hasta el punto de saturación de fibras o viceversa, por cada 1 % de variación en su contenido de humedad.

El coeficiente de contracción se determina en los tres sentidos de la madera, axial, radial y tangencial, y para ello se utiliza la siguiente ecuación 4.4:

$$Cc = C / CH \quad \boxed{\text{Ec. 4.4}}$$

Siendo:

Cc = Coeficiente de contracción.

C = Contracción del estado estacionado al 12 % de humedad al 0 %.

CH = Contenido de humedad de las probetas, estacionada al 12 %.

#### **4.8 Anisotropía de la contracción**

El coeficiente de anisotropía es la relación entre los movimientos lineales tangencial y radial. Se calcula con la siguiente ecuación 4.5:

$$Ac = Bt / Br \quad \boxed{\text{Ec. 4.5}}$$

Siendo:

Ac = Anisotropía de la contracción

Bt = Contracción tangencial

Br = Contracción radial

Si el coeficiente de anisotropía fuera 1 sería lo ideal, esto quiere decir que, la variación tanto en el sentido tangencial como radial son iguales, pero esto no ocurre en las maderas. Cuanto mayor es la relación entre la dirección tangencial y radial, mayor es el valor de anisotropía, y mayores dificultades tendrá la madera en el secado. Las maderas que presentan valores de anisotropía entre 1,2 a 1,5 son consideradas muy buenas, excelentes para usos donde no se permiten alabeo; cuando los valores de anisotropía son de 1,6 a 1,9 la madera es considerada como normal; muy inestable y con limitaciones en sus aplicaciones cuando el valor de anisotropía es mayor que 2.(8)

#### **4.9 Punto de saturación de las fibras (PSF)**

El punto de saturación de fibras ocurre cuando las paredes celulares se encuentran totalmente saturadas, y se ha eliminado toda el agua libre, quedando solamente el agua higroscópica o de imbibición. En la madera de latifoliadas con porosidad difusa el PSF se encuentra aproximadamente entre 32 y 35 % de humedad. En coníferas y latifoliadas con porosidad anular varía entre 21 y 28 %. En la práctica con el fin de facilitar los cálculos se generaliza el PSF en 28 a 30 % de humedad sin especificar la especie. Cuando la madera se encuentra por encima del punto de saturación de fibras, no sufre variación dimensional, solo aumento de peso y porcentaje de humedad. Por debajo del punto de saturación de fibras comienza a producirse cambios en las dimensiones de la madera.

El punto de saturación de la fibra se determina con la siguiente ecuación 4.6 (8):

$$PSF = Ct/Cc$$

Ec. 4.6

Siendo:

PSF=Punto de saturación de las fibras.

Ct = Contracción total.

Cc = Coeficiente de contracción.

#### **4.9.1.1 Propiedades mecánicas de la madera**

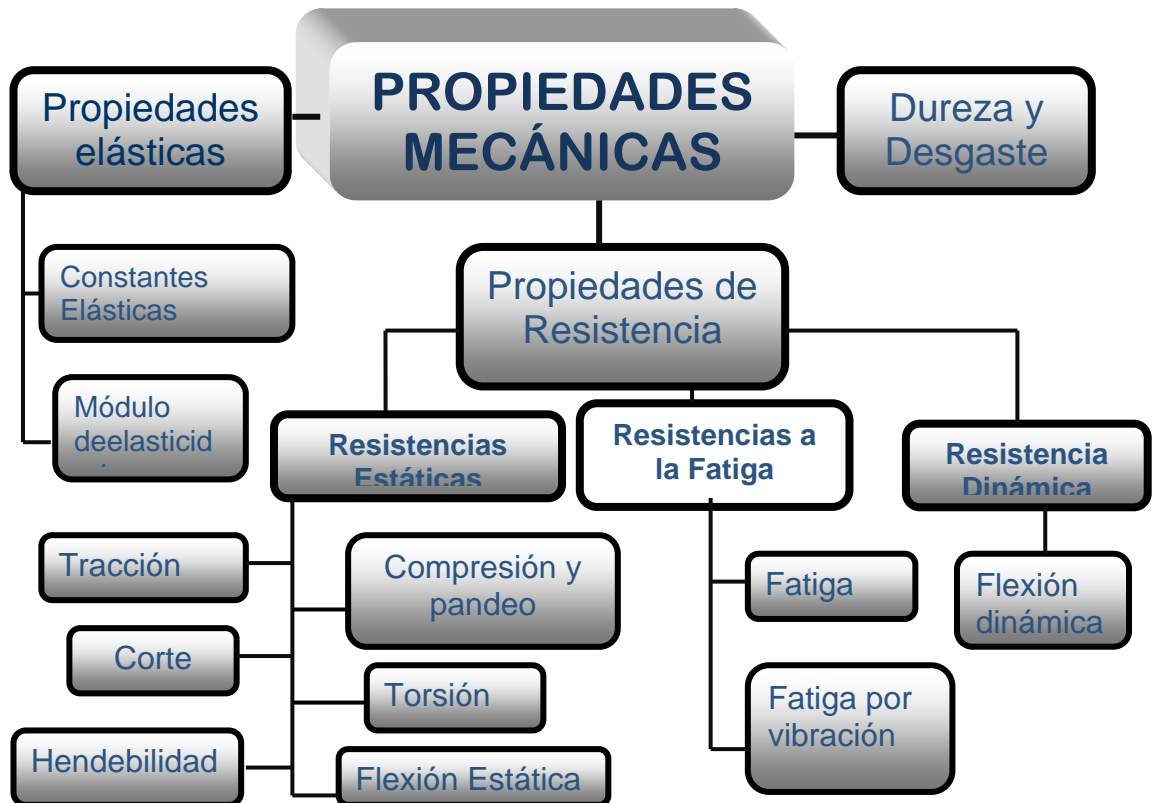
Las propiedades mecánicas de la madera son los comportamientos y las resistencias que ofrece la madera al ser sometida por fuerzas exteriores.

- Miden la aptitud y capacidad para resistir cargas externas.
- La madera presenta diferentes propiedades en las distintas direcciones.
- De éstas características se desprenden los diferentes grados de resistencias de la madera. (8)

#### **4.9.1.2 Determinación de las propiedades mecánicas**

- Obtener valores o magnitudes con el fin de clasificar a las maderas por su resistencia.
- Definir la resistencia de las maderas, para obtener las tensiones admisibles.
- Proveer de datos técnicos a los constructores en madera.

## Propiedades mecánicas que se estudian de la madera



## Factores que influyen en la resistencia mecánica de la madera

Los factores que afectan el comportamiento y la resistencia de la madera, pueden dividirse en dos:

- 1- Influencia de la naturaleza del material
- 2- Influencia de las condiciones ambientales.

1- Influencia de la naturaleza del material

1.1- Estructura de la pared celular

La presencia de fibras y traqueidas alargadas dan rigidez a la madera. Los poros y canales secretores disminuyen la resistencia de la madera. Los radios medulares y las células parenquemáticas presentan zonas más débiles y plásticas.

#### 1.2- Peso específico aparente

Las maderas con elevado peso específico aparente presentan altas resistencias mecánicas, porque este es una medida de la cantidad del material sólido de la madera.

#### 1.3- Posición de la muestra en el tronco

La resistencia de la madera varía a distintas alturas del tronco, a mayor altura disminuyen las resistencias, se debe a que la densidad es menor. En la base del tronco la madera presenta mayor resistencia.

#### 1.4- Velocidad de crecimiento

Las maderas que tienen rápido crecimiento, (Anillos anchos) tienen peso específico aparente bajo, por lo tanto, sus resistencias son menores.

#### 1.5- Nudos

Los nudos vivos y muertos disminuyen los valores de resistencia de la madera. Se debe tener muy en cuenta este defecto en las maderas con fines estructurales.

#### 1.6- Inclinación de las fibras

Cuando las fibras están inclinadas, no se encuentran paralelas al eje longitudinal del tronco, ya sea por su crecimiento o por el mal aserrado, afectan considerablemente las resistencias de la madera.

#### 1.7- Rajaduras radiales y anulares

Estos defectos ocasionan disminución en los valores de las resistencias.

#### 1.8- Maderas secadas al aire y secada en cámara

En los casos en que el secado en cámara ha sido el adecuado y que el contenido de humedad sea similar al de la madera secada al aire libre no existen variaciones en los valores de sus resistencias. Cuando el secado no se realiza con un programa correcto, registran disminuciones en los valores de las propiedades mecánicas de la madera.

#### 1.9- Leño juvenil y leño adulto

En las coníferas, el leño juvenil presenta valores de resistencia bajos, y mejoran sus valores en el leño adulto

#### 2- Influencia de las condiciones ambientales

##### 2.1- Contenido de humedad

Es muy notable la disminución de los valores de las resistencias cuando aumenta el contenido de humedad en la madera, hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí los valores se mantienen prácticamente constante.

##### 2.2- Velocidad con que se aplica la carga

La velocidad de aplicación de las cargas se encuentran establecidas por Normas para cada ensayo. Una velocidad alta produce valores más elevados en las resistencias de las maderas, porque las fibras y moléculas de la madera presentan una corta inercia de reacción.

##### 2.3- Formas y dimensiones de las probetas

Las formas y dimensiones de las probetas influyen en el resultado de los valores.

En el caso de probetas pequeñas sección 2 x 2 cm dan valores mayores, porque prácticamente son más fáciles de obtener piezas con los granos orientados paralelamente al eje axial y evitar otros tipos de defectos.

##### 2.4- Sentido de aplicación de la carga con respecto a las fibras

El comportamiento mecánico de la madera varía con la aplicación de la carga según la dirección de las fibras.

#### 2.5- Duración de la carga

La duración de la carga disminuye considerablemente la resistencia de la madera.

#### 2.6- Temperatura

A mayor temperatura la resistencia de la madera es más baja. (8).

### **4.9.2 Ensayos mecánicos**

Los ensayos mecánicos de flexión estática, compresión paralela a las fibras, dureza Janka, corte o cizallamiento paralelo a las fibras, tracción perpendicular a las fibras, clivaje o rajadura, se pueden realizar con diversas Normas, tales como IRAM, DIN (32), ASTM (33), etc. Los mismos se ensayan en una máquina universal de ensayos.

### **4.9.3 Flexión estática**

Una madera está sometida a la flexión estática cuando sobre ella, ejercen cargas en forma lenta que tienden a curvarla. Las maderas en uso, generalmente están solicitadas por cargas o fuerzas que tienden a flexionarlas. El esfuerzo de flexión ocurre en piezas de gran longitud respecto a su sección transversal, la acción de la carga normal a su eje longitudinal provoca una curvatura. Se producen tres esfuerzos fundamentales: 1- Esfuerzo de compresión que producen un acortamiento longitudinal en la parte superior; 2- Esfuerzo de tracción que producen un alargamiento en la parte inferior; 3- Esfuerzo de corte o cizalle en el centro. La combinación de los dos primeros esfuerzos origina en la pieza de madera una concavidad en la zona de compresión y convexidad en la zona de tracción. (8)

Los ensayos de flexión estática pueden realizarse según las siguientes Normas: Norma DIN (32) que establece las siguientes dimensiones de las probetas: sección cuadrada de 2 cm de lado; longitud total de 36 cm; distancia entre apoyos de 30 cm. La carga debe ser aplicada tangencialmente a los anillos de crecimiento, a una velocidad de 400 a 500 kg/cm<sup>2</sup> por minuto.

Norma IRAM 9545(34), exige probetas de 2 cm de altura por 2 cm de base y 34 cm de largo y la velocidad de carga de la maquina sin la probeta debe estar regulada, de manera que, el cabezal móvil avance a 5 mm/minuto.

Norma ASTM (33), las probetas deben tener una sección de 5 cm por 5 cm y largo de 76 cm.

Como se ve, requiere una gran cantidad de material respecto a las Normas anteriores, que son las más utilizadas.

Para este ensayo es necesario un flexómetro o deflectómetro con precisión de 0,01 mm. Para medir las flechas. Cuando se realizan los ensayos de flexión estática se debe tomar las cargas y las deformaciones que va sufriendo la madera hasta la carga de rotura, luego se traza la curva carga-deformación para obtener la carga en el límite proporcional y la flecha o deformación en el límite elástico. Se presentan tres esfuerzos en este ensayo:

- Esfuerzo de compresión. Produce un acortamiento longitudinal en la parte superior.
- Esfuerzo de tracción. Produce un alargamiento en la parte inferior.
- Esfuerzo de corte o cizallamiento. Se produce en el centro.

#### **4.9.4 Módulo de rotura a la flexión estática MOR**

El módulo de rotura se calcula con la ecuación 4.7:

$$MOR = 3PL/2bh^2$$

Ec. 4.7

Siendo:

MOR = modulo de rotura, en kg/cm<sup>2</sup>.

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.



h = Altura, en cm.

#### **4.9.5 Módulo de elasticidad a la flexión estática MOE**

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de elasticidad para cada probeta ensayada, figura 4.

El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente ecuación 4.8:

$$MOE = P'L^3/4bh^3f$$

Ec. 4.8

Siendo:

MOE = Modulo de elasticidad, en kg/cm<sup>2</sup>.

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

f = Deformación, en cm.

Probetas para determinar resistencia a la flexión estática. DIN (32). IRAM 9545(32).

Modulo de elasticidad

- El MOE indica la medida de rigidez de una madera
- Las maderas que presentan MOE elevado son las más indicadas para la construcción.(8)

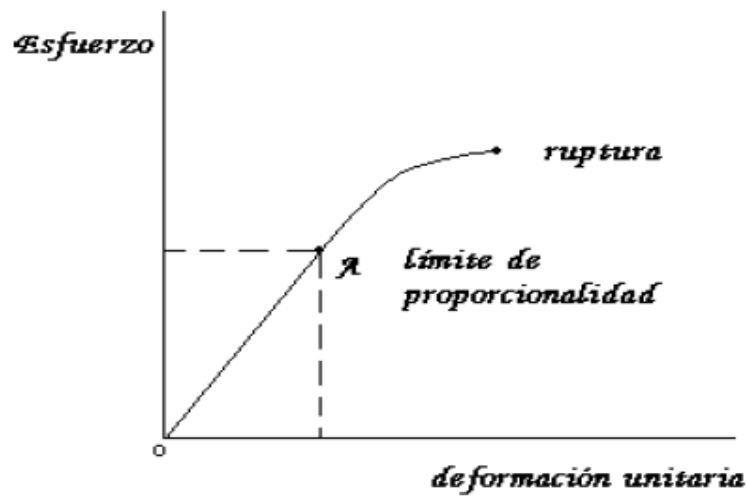


Figura 4.4: Grafico de esfuerzo – deformación.

#### 4.9.6 Compresión longitudinal o paralela a las fibras.

La resistencia a la compresión en el sentido longitudinal es de 5 a 8 veces mayor que la compresión perpendicular.

Para determinar la resistencia a la compresión axial o paralela a las fibras pueden utilizarse probetas con dimensiones según establecen las Normas IRAM, DIN, AFNOR, ASTM, COPANT, etc. Estas dos últimas utilizan probetas con sección transversal de 5 cm por 5 cm, mientras que las anteriores adoptan sección de 2 cm por 2 cm y 6 cm de largo. A continuación se describen las más utilizadas.

Norma DIN (32), utiliza probetas de sección cuadrada de dos centímetros de lado y seis centímetros de longitud. La velocidad de avance del cabezal es de 0.6 milímetro por minuto. Norma IRAM 9541 (35), las probetas deben tener una sección de 2 cm por 2 cm, largo 6 cm, figura 4.5, libre de defectos y contenido de humedad del 12 %. La velocidad de avance del cabezal aproximadamente de 0.6 mm/min. Se coloca un compresómetro que indicará las deformaciones que se irán produciendo con las distintas cargas. Con estos datos se realiza el diagrama carga-deformación para obtener la carga y la deformación en el límite de proporcionalidad. (8)

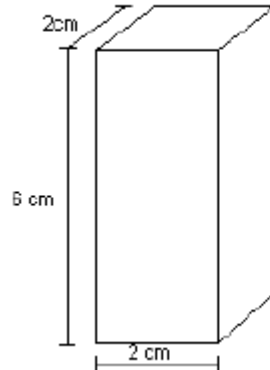


Figura 4.5. Probetas para determinar compresión paralela a las fibras. (35); (32)

La tensión de rotura se determina según la ecuación 4.9:

$$\text{MOR} = P/S$$

Ec.4.9

Siendo:

MOR = Modulo de rotura, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección, en  $\text{cm}^2$ .

Módulo de elasticidad a la compresión

Para determinar el módulo de elasticidad a la compresión, se dibujan la curva de elasticidad para cada probeta ensayada, con el fin de obtener de ellas, las cargas y deformaciones en el límite proporcional.

La ecuación 4.10 para calcular es la siguiente:

$$\text{MOE} = P' L_p / S f$$

Ec. 4.10

Siendo:

MOE = Modulo de elasticidad, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

Lp = Longitud de la probeta, en cm.

S = Sección de la probeta, en  $\text{cm}^2$

f = Deformación, en cm.

#### 4.10 Dureza Janka

La dureza de la madera es la resistencia que esta ofrece a la penetración de un cuerpo más duro. Una madera dura indica dificultad de desgaste, y generalmente son más pesadas. Las maderas duras son apropiadas para pisos, y todas aquellas piezas que requieren retener tornillos, clavos etc. La dureza no está exactamente considerada como una propiedad mecánica de la madera, debido a los diversos métodos para su determinación y el diferente sentido físico de los valores que se obtienen. Los ensayos de dureza se determinan según establecen las Normas IRAM 9570 (35) y ASTM 143/52 (32), utilizándose probetas de sección cuadrada de 50 mm de lado y 150 mm de longitud, figura 4.7, orientadas, de tal forma que las caras opuestas tengan dos superficies tangenciales, dos radiales y dos transversales. Se realiza un ensayo en cada superficie, obteniéndose medias para cada una de las superficies. El ensayo consiste en la introducción de una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro, que deja una impronta de sección circular de un centímetro cuadrado de superficie. La dureza se expresa en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . La velocidad de carga del ensayo es de 6 mm/min.

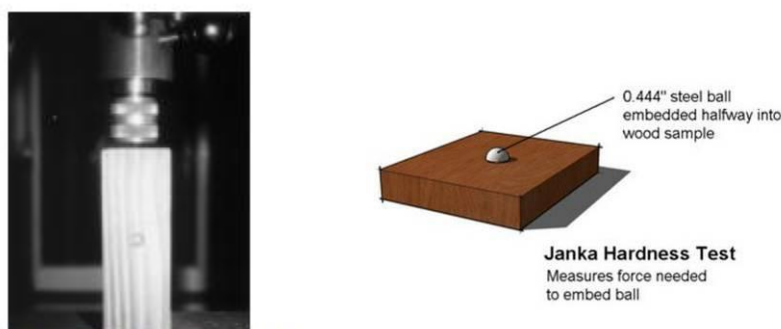


Figura 4.6: Probeta para ensayo de dureza Janka.

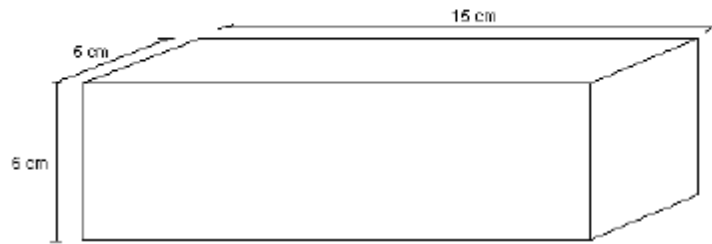


Figura 4.7: Probeta para determinar la dureza de la madera Norma ASTM 143/52

## **4.11 Desgaste**

El ensayo de desgaste en la madera tienen por objetivo determinar las condiciones resistentes de este material, cuando se halla expuesta a efectos reiterados por cuerpos en movimiento, los que originan el deterioro progresivo de la madera por acción puramente mecánica. Generalmente estos ensayos se efectúan sobre la superficie de la madera mediante abrasivos granulares de características normalizadas. (36)

### **4.11.1 Método de maquinas lijadoras de carrera alternativa**

El investigador F. Kollmann (37) ha desarrollado una máquina, mediante el cual el proceso de desgaste es realizado a través de una lijadora de carrera alternativa que presenta los efectos de las pisadas. Para el ensayo de este trabajo se tienen probetas de 5 cm x 2,5 cm de espesor. Cada 2500 carreras de desplazamiento se mide con un tornillo micrométrico la disminución del espesor (eventualmente pérdida de peso), al mismo tiempo se gira 90 ° la probeta, de tal forma que el lijado se realice en la dirección longitudinal y transversal a las fibras, a las 5.000 carreras se mide nuevamente un espesor. En general el ensayo se realiza hasta las 20.000 carreras.

Normalmente, en estos ensayos el contenido de humedad de las muestras no deben ser elevadas (hasta aproximadamente un 15% de humedad); no son ensayadas maderas húmedas ya que durante el ensayo se produce una pérdida de humedad y con ello se perjudica la banda lijadora.(20)

## **4.12 Durabilidad de la madera**

El empleo de una madera en un uso determinado, depende principalmente de sus propiedades físicas, mecánicas y de su carácter estético, definidas sobre la madera sana. Es necesario sin embargo no dejar de considerar que estas propiedades son modificadas, en mayor o menor escala, con el transcurso del tiempo. Entre las causas que provocan alteraciones de la madera, se hallan los hongos xilófagos responsables, principalmente aquellas destinadas a la construcción de viviendas. Tal es la importancia, que ha dado origen a la industria de la preservación de madera. Ante la acción de agentes micóticos las maderas presentan diferente resistencia. Esto se debe a su estructura y a las proporciones de sustancias químicas contenidas en los tejidos leñosos, variables según la especie, la edad del árbol y las condiciones de desarrollo. (12). Se entiende por durabilidad natural al conjunto de propiedades de la madera, características de cada especie, que le confieren una determinada durabilidad en servicio, cuando son utilizadas sin ningún tratamiento de preservación.

Los hongos que atacan a las maderas producen, básicamente pudriciones que desintegran la lignina por oxidación y la celulosa por hidrólisis, causando pérdida del color natural, peso y propiedades de resistencia mecánicas de la madera. (36)

### **4.12.1 Descripción de hongos xilófagos**

#### ***Ganoderma applanatum***

Conocido como comúnmente como oreja de palo, cuerpo de fructificación. Conocido también como " hongo plataforma " ya que su cuerpo fructífero forma plataforma en los lados de los árboles y troncos.(38)

El Ganoderma es un hongo que prefiere a las especies frondosas, causando podredumbre blanca o amarillenta, con cavidades llenos de micelio blanco (39)

*Laetiporus sulphureus*

*Laetiporus sulphureus*, conocido comúnmente como repisa de azufre, porque su cuerpo fructífero se dispone en forma de repisa. Crece saprofiticamente sobre troncos caídos; aunque también se ha recolectado sobre árboles vivos de *Eucaliptus* sp. (40)

#### 4.12.2 Determinación de durabilidad

La durabilidad de la madera frente al ataque de los hongos xilófagos, se determina a partir de la diferencia de peso, antes y después de ser sometidas a la actividad de los mismos, Findlay, (41) clasifica a las maderas por su pérdida de peso de la siguiente manera, tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** Relación del porcentaje de pérdida de peso y grado de resistencia.

Porcentaje pérdida de peso	Grado de Resistencia
Hasta 1 %	Muy Resistente
De 2 % a 5 %	Resistente
De 5 % a 10 %	Moderadamente resistente
De 10 % a 30 %	No resistentes
Superior al 30 %	Perecederas

Bobadilla *et al.* (2007)(46) estudiaron la acción de los hongos *Ganoderma applanatum* BAFC: 1168 y *Laetiporus sulphureus* BAFC: 205 sobre la madera del *Pinus taeda* y encontraron pérdida de pesos de 67,63 % y 36,77 % respectivamente para cada hongo, indicando esto como madera perecedera.

## **5 MATERIALES Y METODOS**

### **5.1 Materiales utilizados**

Selección de los ejemplares: Se trabajo con muestras. El tipo de muestreo empleado fue, muestreo Intencionado o Sesgado, dado que los ejemplares fueron seleccionados de acuerdo a determinadas características.

Se seleccionaron 12 árboles de 10 años de edad, diámetro altura pecho medio de 22 cm , de los cuales se tomó , 3 árboles por tratamientos, identificando como T0 a los 3 rollos tomados como testigos que no fueron sumergidos en agua, T1 a los 3 rollos en el cual se sumergió 7 días, T2 a los 3 rollos en los cuales se sumergieron 14 días en agua y T3 a los 3 rollos sumergidos por 21 días, los rollos tenían buen estado sanitario, con fuste derecho, sin bifurcaciones. Los ejemplares fueron obtenidos de una plantación perteneciente a la familia Furst, ubicado en el departamento de Obera

**Traslado de los rollizos al aserradero:** Los rollizos fueron sumergidos en agua durante 7,14 y 21 días. Transcurrido el tiempo de cada tratamiento los tres rollizos perteneciente a cada tratamiento fueron procesados con un sistema de corte en paralelo en una sierra sinfín, obteniéndose 3 viguetas de 7cm x 7 cm y luego introducidas en cámara de secado artificial secadas ubicando siempre las viguetas en la misma posición en la cámara y secadas con el mismo programa. Y un contenido de humedad final promedio de 15 % en el cual la madera permaneció 3 días en cámara

Selección de piezas para los ensayos: Una vez seca las viguetas las mismas fueron cepilladas e identificadas con sus respectivos tiempos de estacionamiento en agua. Sobre los Viguetas se dibujaron y obtuvieron las probetas, las mismas fueron identificadas y llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de Eldorado, donde se las estacionaron y acondicionaron antes de estudiar las propiedades físicas y mecánicas.



## 5.2 Ensayos de las propiedades físicas

### Densidad

Para determinar las densidades se utilizaron 48 probetas (12 probetas por tratamiento) de forma cubicas de dos centímetros de lado como se presenta en la norma IRAM N° 9544(43).

### Densidad Básica

La densidad básica se determino, con los volúmenes saturadas de las probetas, sumergiéndolas durante 7 días y peso anhidro. Luego se las llevo a estufa a temperatura de 103+-2°C hasta lograr peso constante. Para el cálculo se utilizo la siguiente expresión ecuación 5.1:

$$D_b = P_o / V_s \quad \boxed{\text{Ec. 5.1}}$$

Donde:

$D_b$ : Densidad básica en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$P_o$ : Peso anhidro en gr.

$V_s$ : Volumen saturada en  $\text{cm}^3$

### Densidad anhidra y estacionada

Se utilizaron las siguientes formulas. Ecuación 5.2

$$D_o = P_o / V_o \quad \boxed{\text{Ec. 5.2}}$$

Donde:

$D_o$ : Densidad anhidra en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$P_o$ : Peso anhidro en gr.

$V_o$ : Volumen anhidro en  $\text{cm}^3$

Ecuación 5.3.

$$D_e = P_e / V_e \quad \boxed{\text{Ec. 5.3}}$$

Donde:

$D_e$ : Densidad estacionada en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$P_e$ : Peso estacionado en gr.

$V_e$ : Volumen estacionado en  $\text{cm}^3$

## Contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó en todas las probetas ensayadas, para cada tratamiento, utilizando la metodología establecida en la Norma IRAM N° 9532(30). En el cual se utilizo la ecuación 5.1

$$CH = ((Pe - Po) / Po) \times 100$$

Donde:

CH= Contenido de humedad de la muestra en porcentaje

Pe= Peso estacionado en gr.

Po= Peso anhidro en gr.

## Contracciones

Se utilizaron 12 probetas por tratamiento de 2 cm<sup>2</sup> de sección y 5 cm de largo según norma Técnica IRAM N° 9543(32) Figura. 5.1 Se determinaron las contracciones totales en las direcciones tangencial, radial y axial, coeficiente de contracción y punto de saturación de las fibras. Para los cálculos se aplicaron las siguientes ecuaciones

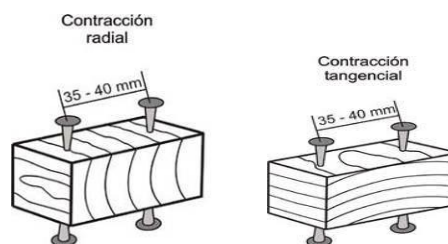


Figura5.1 Probetas para determinar contracciones.

### **Contracción total**

La contracción total se determinó a través de la ecuación 4.4

$$CT = (L_s - L_o) / L_s \times 100$$

Ec. 5.4

Siendo:

CT=Contracción total

Ls= Longitud saturada

Lo= Longitud anhidra

### **Coefficiente de contracción**

El coeficiente de contracción se establece a través de la ecuación 4.5, tomando 12 probetas por tratamiento.

$$Cc = C / CH$$

Ec. 5.5

Siendo:

Cc=Coeficiente de contracción

C= Contracción desde el estado estacionado al anhidro

CH= Contenido de humedad de la probeta

### **Anisotropía de contracción**

La anisotropía de contracción se establece a través de la relación 5.6 usando para ello 12 probetas por tratamiento

$$Ac = B_t / B_r$$

Ec. 5.6

Bt= Contracción tangencial

Br= Contracción radial

### **Punto de saturación de las fibras (PSF)**

El punto de saturación de la fibra se determinó tomando 12 probetas por tratamiento y usando la fórmula 5.7:

$$PSF = CT/Cc$$

Ec.5.7

Siendo:

PSF = Punto de saturación de las fibras

CT = Contracción total

Cc = Coeficiente de contracción

### **5.3 Ensayos de propiedades mecánicas**

Los ensayos mecánicos se realizaron con una máquina universal de ensayos electromecánica, con capacidad de 300 kN y sensibilidad de 300 N. La misma cuenta con elementos auxiliares para este ensayo. Los datos obtenidos se tomaron del programa que compone parte del equipo.

#### **Flexión estática**

Se utilizó la Norma IRAM N° 9545 (34), ensayando 48 (12 por tratamiento) probetas libres de defectos, de 34 cm de longitud y sección cuadrada de 2 cm de lado. La distancia entre apoyos fue de 30 cm y la carga que se aplicó tangencialmente a los anillos de crecimiento a una velocidad de 5 mm por minuto. Figura 5.2. Los valores de módulo de elasticidad y módulo de rotura se tomaron del programa que forma parte del equipo.



Figura5.2: Esquema de dimensiones (mm) de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de flexión estática.

### **Compresión paralela a las fibras**

Para realizar los ensayos de compresión paralela a las fibras, se siguieron las especificaciones estipuladas en la Normas IRAM 9541 (35), con 12 probetas de 2x2x6cm. por cada tratamiento.

El modulo de rotura se tomo del programa de la maquina, el modulo de elasticidad fue calculado con los valores de carga y deformación leídos en el programa, con la ecuación 5.10.



Figura 5.3. Probeta de madera de *Pinus elliotii* para ensayo de compresión paralela a las fibras.

### **Dureza Janka**

Esta propiedad fue determinada según establece la Norma IRAM 9570, usando 12 probetas por cada tratamiento donde cada una tenía una sección de 50 mm por 50 mm y 50 mm de largo. (45), orientadas en forma tal que dos superficies sean tangenciales, dos radiales y dos transversales. Figura 5.4.

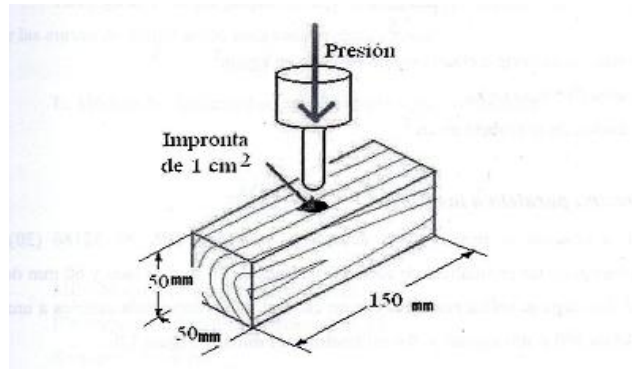


Figura 5.4. Probeta IRAM 50x50x150 mm

El ensayo se realiza introduciendo una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro, lo que deja una impronta de sección circular de 1 cm<sup>2</sup>. La velocidad de carga es de 6 mm/min. Figura 5.5. Los valores de cargas se tomaron del programa.



Figura 5.5. Probeta adaptada 50x50x50 mm

## **Desgaste**

Para el ensayo de este trabajo se trabajó con probetas de las que se tienen 9 probetas por tratamiento de 5 cm x 5 cm y 2,5 cm de espesor. Para el desgaste se usó una lijadora donde la velocidad de la misma es de 800 pie/ min., se usó una lija con una granulometría de 120

Para realizar el ensayo se sujetó la probeta y se apoyó con la lijadora encendida en una de sus caras por un periodo de 30 segundos, luego de los 30 segundos se giró 90 grados

la pieza para homogenizar el desgaste en tal forma de realizar el desgaste en la dirección longitudinal y transversal .

Para cuantificar el desgaste de las piezas se pesaron las muestras antes de realizar el desgaste y después de haber realizado el mismo en las dos caras. El resultado se expreso en porcentaje de pérdida de peso respecto del peso inicial de la muestra

Para uniformizar el desgaste en cada grupo (9 muestras por tratamiento) se cambio la banda de la máquina

Las muestras se encontraban secas, con lo cual se producía un buen desprendimiento del polvo de la madera, no se observo el empastamiento de la banda del equipo.

Para homogenizar el tratamiento se uso un cronómetro digital.

El tratamiento usado se ajusto a lo indicado en la bibliografía Coronel (20)

### **Determinación de durabilidad**

Se tomaron cinco probetas de madera no tratada y 5 probetas de las maderas sometidas a 7, 14 y 21 días en agua, 2 especies de hongos, se siguió las técnicas sugeridas por la Norma EN 113 modificada, La modificación consistió en el tamaño de las probetas, con el fin de utilizar tubos de ensayos más pequeños para que se puedan introducir las mismas dimensiones de las probetas, 3 x 1 x 0,5 cm. Las cepas de hongos utilizadas fueron: *Laetiporus Sulphureus* BAFC: 205 y *Ganoderma Applanatum*, proporcionadas por el Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Buenos Aires El cultivo de los hongos se realizó en medio de Noble que consistió en 25 gr de agar-agar y 15 gr de extracto de malta, por cada 1000 gr de agua destilada, esta solución se colocó en tubos de Pirex de 200 mm de largo y 20 mm de diámetro, obturados con tapón de algodón, este material se esterilizó en autoclave a 0,5 atm de presión durante 5 minutos y luego colocados en posición inclinada, aproximadamente 10° con el propósito de que se forme el pico de flauta, el cual una vez solidificado y en condiciones asépticas se colocaron sobre esa superficie trozos de micelios de cada hongo mencionado, y en esas condiciones fueron colocados en cámara de cultivo durante 14 días a 27° C ± 1° C, con

observaciones diarias hasta que el desarrollo del micelio cubra totalmente el pico de flauta. Una vez desarrollado totalmente el micelio del hongo en los tubos, se depositaron en el mismo cada una de las probetas previamente identificadas, número de repeticiones, tratamientos y tipo de hongo, y nuevamente fueron ubicadas en cámara de cultivo durante cuatro meses, a una temperatura de  $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , con controles semanales, finalizado este periodo, las probetas se retiraron de los tubos, se las limpio de restos de micelio dejándolas en ambiente de laboratorio durante 48 hs, para su acondicionamiento, luego se tomaron los pesos de las probetas. Para la determinación de los pesos se utilizaron una balanza Mettler, con precisión de 0,001 gramos. La durabilidad de las maderas se determinó a partir de la diferencia de peso, antes y después de finalizado el tratamiento.

Para la clasificación de la durabilidad de las maderas no tratadas y tratadas bajo estudio se utilizó el criterio de Findlay (42).

La norma EN 113 estipula el uso de material de referencia, específicamente para coníferas recomienda el uso de *Pinus sylvestris*

#### **5.4 Equipo y Material de Laboratorio**

Para los ensayos físicos de densidad, contracción, coeficiente de contracción y contenido de humedad se utilizaron los siguientes equipos de la Facultad de Ciencias Forestales:

Se utilizo el principio de Arquímedes para medir volúmenes, Balanza electrónica de precisión de 0,001 gr

Estufa de secado con termostato, que permite regular temperatura de  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Calibres de precisión Mitutoyo, origen japonés, con precisión de medidas de 0,02 mm.

Los ensayos mecánicos se realizaron en una maquina electromecánica universal de ensayos modelo 10407030 de procedencia Italiana fabricante DIDACTA, Figura 5.6, con capacidad de 300 kN y sensibilidad de 300N.





Figura 5.6 Maquina Universal de ensayos electromecánica

## 5.5 Procesamiento de datos

El diseño utilizado fue completamente al azar y el análisis de varianza de experimento de factorial  $1 \times 4 \times 2$  para el caso del análisis de durabilidad y el factorial  $1 \times 4$  para el resto de los ensayos, donde el primero corresponde al número de especie de madera, el segundo los tratamientos de las maderas sumergidas en agua y la testigo, y el tercer factor en el caso del factorial  $1 \times 4 \times 2$  corresponde a especies de hongos. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varianza simple, con un nivel de confianza de 95%.

Se verificó la existencia de datos atípicos mediante gráficos de cajas, la normalidad e independencia de los datos. Para los casos en donde se verificó la existencia de valores atípicos, se ha procedido a eliminarlos en función de los valores de sesgo y curtosis estandarizada, las cuales se utilizaron para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de  $-2$  a  $+2$  indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar.

La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El método que se empleó para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Para todas las variables de estudio se calcularon los estadísticos descriptivos media, desvió estándar, coeficiente de variación, máximo, mínimo y rango.

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Propiedades físicas

#### Densidad básica

Los valores medios de la densidad básica, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos para cada tratamiento de la madera de *Pinus elliotii* podemos observar en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1** Valores medios de densidad básica, desvío estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos de los cuatro tratamientos de la madera de *Pinus elliotii*.

Tratamiento (días)	Promedio gr/cm <sup>3</sup>	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación %	Mínimo gr/cm <sup>3</sup>	Máximo gr/cm <sup>3</sup>
0	0,465a	0,034	7,47	0,423	0,51
7	0,365b	0,019	5,44	0,339	0,39
14	0,443b	0,017	3,91	0,419	0,47
21	0,430c	0,009	2,14	0,417	0,45

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los máximos valores de densidad se dieron en las muestras testigo 0 días, 14 días, 21 días, y en menor valor las maderas sometidas a 7 días.

Los análisis de varianza dan diferencias significativas entre los distintos tratamientos, en el Anexo I se muestran las respectivas tablas.

Se observa en los datos obtenidos la tendencia de la densidad básica a aumentar para los tratamientos de 14 y 21 días.

El valor promedio de peso específico básico de la madera sin tratar es superior a los valores obtenidos por González *et al.* (42) y Muñiz (21), pero inferior al estudiado por Sparnochia, (26).

En la Figura 6.1 vemos la comparación de medias para cada tratamiento, notándose una marcada diferencia entre el tratamiento 7 con los demás tratamientos.

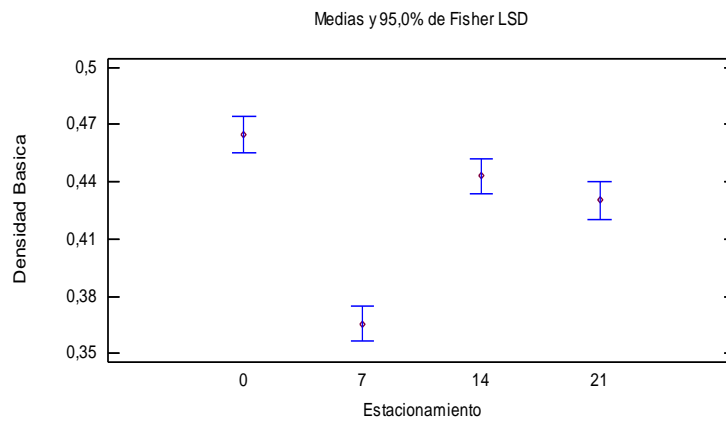


Figura 6.1: Comparación de medias de la densidad básica de los cuatro tratamientos.

Para aclarar, no son muestras estratificadas, fueron tomadas al azar y esas diferencias se debe a la variación del leño de las coníferas por ser una especie de rápido crecimiento.

## 6.2 Densidad anhidra y estacionada

En la tabla 6.2 se presentan los valores promedios de la densidad anhidra y estacionada de los cuatro tratamientos.

**Tabla 6.2** Valores medio de la densidad anhidra y estacionada para los tiempos de estacionamiento en agua de 0,7, 14 y 21 días.

Tratamiento	Densidad Media (gr/cm <sup>3</sup> )	
	Anhidra	Estacionada
0	0,527	0,566
7	0,401	0,425
14	0,501	0,521
21	0,481	0,499

La madera estacionada se encontraba al 15 %.

El tratamiento de 21 días muestra una disminución de la densidad anhidra y estacionada respecto del tratamiento de 14 días, pero no se observa lo mismo del tratamiento de 14 días respecto de los 7 días en el cual se ve un aumento.

La densidad media estacionada de la madera testigo presenta valor superior al de González *et al.* (42), Sparnochia, (26)Muñiz (21),similar al de Suirezs *et al.* (27) para maderas de 18 años de edad.

### 6.3 Contenido de humedad y punto de saturación de las fibras (PSF)

48

En la tabla 6.3 se presentan los valores medios de contenido de humedad obtenida por tratamiento, tomada de todas las probetas ensayadas para cada una de las propiedades estudiadas, desvío estándar y coeficiente de variación.

**Tabla 6.3** Valores de contenido de humedad promedio, desvío estándar (DS) y coeficiente de variación (CV) de los cuatro tratamientos

Tratamiento	Medias %	DS %	CV %
0	8	0,851	10,6
7	10	0,683	6,83
14	8	0,668	8,35
21	7,5	0,577	7,69

En la tabla 6.4 Se presentan los valores medios de punto de saturación de las fibras (P.S.F), desvío estándar (D.S) y coeficiente de variación (C.V) obtenida por tratamiento.

**Tabla 6.4** Valores de punto de saturación de fibras (P.S.F), desvío estándar (D.S) y coeficiente de variación (C.V) de los cuatro tratamientos.

Tratamiento	Medias%	D.S%	C.V%
0	23,70	9,99	42,15
7	22,66	6,74	29,74
14	24,95	11,03	44,20
21	25,70	12,34	48,01

Para el punto de saturación de fibras (P.S.F) se observa que las maderas sometidas a inmersión, por 14 y 21 días presentan valores medios más altos

### 6.4 Contracciones

#### Contracción axial total

En la tabla 6.5 se presentan los valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación de contracción total en el sentido axial de los 4 tratamientos. Se considero volumen saturada en todos los casos

Existe diferencia estadísticamente significativa para la contracción axial total entre el tratamiento de 21 días y los tratamientos de 0 y 7 días. En el Anexo I se presenta la tabla de varianza y la comparación de medias.

**Tabla 6.5:** Valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación de la contracción total axial para los 4 tratamientos.

Contracción total axial			
Tratamiento (días)	Promedio %	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación %
0	0,11a	0,02	23,09
7	0,14a	0,07	49,65
14	0,19a	0,08	45,03
21	0,29b	0,18	63,03

El valor medio de contracción axial de la madera testigo es inferior al presentado por Muñiz (21).

En la Figura. 6.2 se presenta la comparación de medias de la contracción total axial

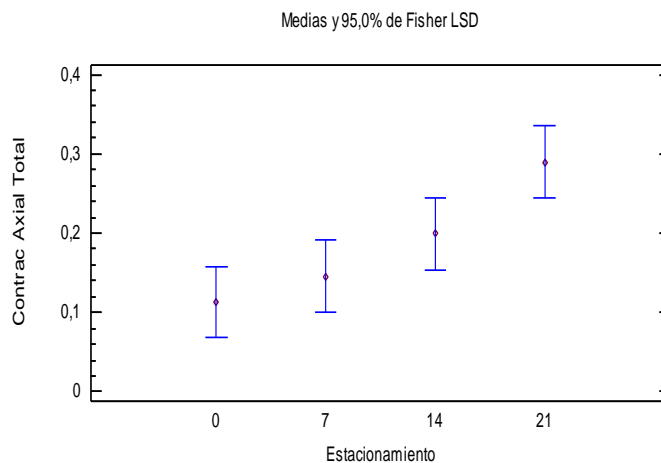


Figura. 6.2: Comparación de medias de la contracción total axial de los cuatro tratamientos

Si observamos el gráfico de medias podemos decir que existen diferencias significativas entre el tratamiento de 21 días respecto de 0,7 y 14 días sumergida. Por otro lado podemos decir que no hay diferencias significativas entre los de 0, 7 y 14.

### **Contracción total radial**

En la tabla 6.6 se presentan los valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación de la contracción total en el sentido radial para los 4 tratamientos.

**Tabla 6.6:** Valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación de la contracción total en el sentido radial para los 4 tratamientos.

Contracción total radial			
Tratamiento (días)	Promedio %	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación %
0	3,53a	0,40	11,52
7	3,38a	0,62	18,33
14	3,56a	1,37	38,57
21	2,32b	0,48	20,83

La contracción total radial presenta diferencia significativa entre el tratamiento de 21 días con los tratamientos de 0, 7 y 14 días. El tratamiento de 21 días fue el que obtuvo el menor valor promedio de contracción total radial, significando esto una mejora en la estabilidad dimensional de la madera. Siempre que estamos hablando de contracción total la dimensión se toma en estado saturada.

Según González et al. (42) y Muñiz (21), obtuvieron valores promedios de contracción total radial superiores, a los arrojados por la madera testigo en este trabajo.

En la Figura 6.3 se presenta la comparación de medias de la contracción total radial para los 4 tratamientos estudiados.

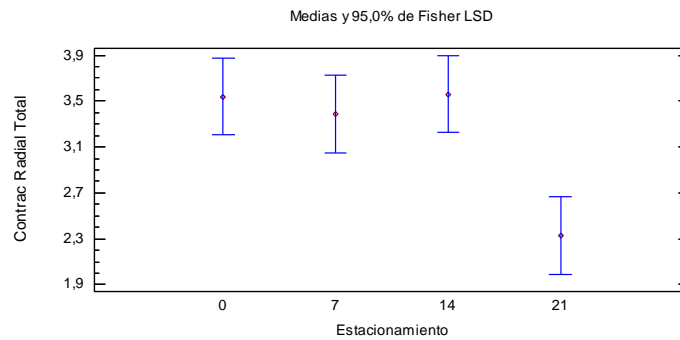


Figura6.3 Comparación de medias de la contracción total radial.

Observando el gráfico de medias podemos decir que el tiempo de permanencia sumergida tuvo efecto significativo sobre la contracción radial a los 21 días, pero no hubo diferencia entre los tratamientos 0 días, 7 días y 14 días.

### Contracción total tangencial

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el sentido tangencial en la tabla 6.7 de los 4 tratamientos. En este caso el análisis de varianza es significativo para la contracción tangencial total. Para todos los casos se considero longitud saturada.

**Tabla6.7** Valores promedios, desvió estándar coeficiente de variación en el sentido tangencial

Contracción total tangencial			
Tratamiento (días)	Promedio %	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación %
0	4,88a	1,33	27,25
7	4,40ab	0,81	18,47
14	3,74b	0,42	11,26
21	4,10bab	0,90	22,03

Se puede ver en la tabla 6.7 que las maderas con tratamientos de 14 y 21 días, arrojaron valores medios de contracciones menores, indicando esto una mejora en la estabilidad dimensional de la madera.

El valor promedio de la contracción total radial de la madera testigo es inferior a los valores promedios presentados por González et al. (42) y Muñiz (21).

En la Figura 6.4 se presentan la comparación de medias de la contracción total tangencial

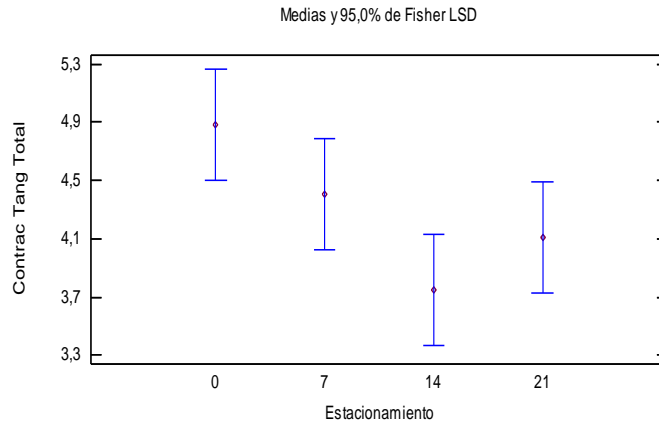


Figura. 6.4: Comparación de medias de la contracción total tangencial de los cuatro tratamientos.

Si consideramos los tratamientos de 0 y 14 días vemos que existen diferencias estadísticamente significativas (Anexo I), en la contracción tangencial total, pero no se observan diferencias significativas entre los tratamientos de 7 días, 14 días y 21 días.

En la tabla 6.8 se presentan los valores medios del coeficiente de anisotropía para los 4 tratamientos.

**Tabla 6.8:** Coeficiente de anisotropía de las maderas tratadas y no tratada

Días	Valores
0	1,38
7	1,30
14	1,05
21	1,76

El coeficiente de anisotropía fue mejor a los 14 días con el menor valor correspondiente a 1,05. El valor de la muestra testigo fue de 1,38. En todos los casos la madera presenta



valores de anisotropía bajos, lo que indica una madera apropiada para el desgaste y el secado.

## 6.5 Propiedades mecánicas

### 6.5.1 Flexión estática

Los valores medios de los módulos de elasticidad a la flexión estática para cada tratamiento podemos observar en la tabla 6.9.

**Tabla 6.9:** Valores medios de modulo de elasticidad MOE a la flexión estática de los cuatro tratamientos.

Tratamiento (días)	Promedio N/mm <sup>2</sup>	DS	C.V %	Mínimo	Máximo
0	8879,09a	774,12	8,71%	7763,45	9964,64
7	5702,67b	1515,37	26,57%	3535,25	8289,81
14	6307,83b	1193,71	18,92%	4560,25	8924,09
21	6828,99b	1090,53	15,96%	5281,16	8807,82

DS=Desvío estándar, CV= Coeficiente de variación

Se observa en la tabla 5.9 que los máximos valores de modulo de elasticidad a la flexión estática se dieron en las muestras de 0 días y 21 días, y en menor valor el tratamiento de 7 días, y de 14 días en ese orden.

**Tabla 6.10:** Valores promedios de módulos de rotura MOR a la flexión estática para los cuatro tratamiento.

Tratamiento (días)	Módulo de Rotura N/mm <sup>2</sup>	D.S	C.V %
0	84,64a	9,67	11,42
7	58,95b	11,81	20,04
14	62,225b	10,96	17,62
21	60,375b	8,18	13,55

DS=Desvío estándar, CV= Coeficiente de variación

Observando los valores promedios de la tabla 5.10, se demuestra diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento 0 días o testigo y los tratamiento 7, 14 y 21 días.

El modulo de rotura para la madera testigo es inferior al obtenido por González *et al.* (42) y Suirezset *al.* (26) para ejemplares de 16 y 18 años de edad. Superior a los estudiados por Muñiz (21) y Sparnochia, (26).

En la Figura 6.5 se presenta la comparación de medias de los módulos de rotura a la flexión estática para los 4 tratamientos.

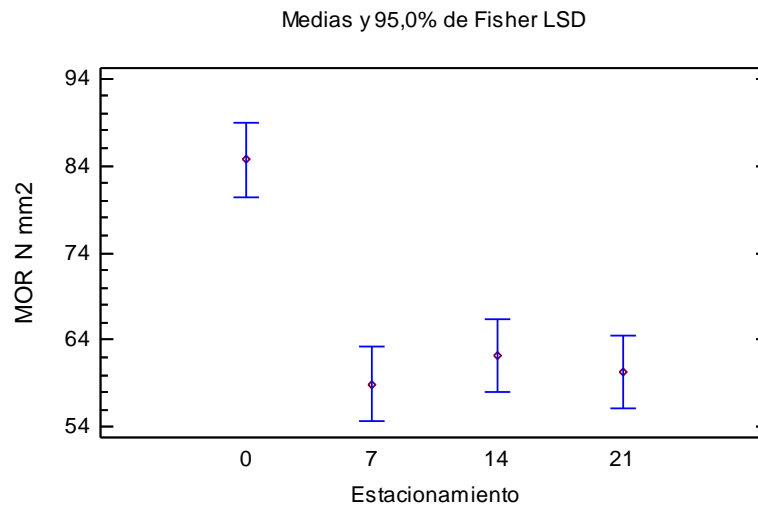


Figura. 6.5. Valores medios de MOR a la flexion estatica.

Se observa en la Figura la diferencia significativa en la madera testigo y las maderas sometidas a inmersión en agua durante 7, 14 y 21 días.

### 6.5.2 Compresión paralela a las fibras

Se presentan en la tabla 6.11 los valores promedios de modulo de elasticidad MOE a la compresión paralela a las fibras de la madera de *Pinus elliotii* sometida a inmersión en agua durante 7,14 y 21 y sin sumergir.

**Tabla 6.11:** Valores promedios de modulo de rotura a la compresión de los 4 tratamientos.

Tratamiento (días)	Módulo de Elasticidad N/mm <sup>2</sup>	D.S	C.V %	Mínimo	Máximo
0	37,03 a	7,71	20,83%	21,0	50,0
7	30,01 b	2,44	8,164%	26,0	34,0
14	29,83 b	3,18	10,67%	23,0	34,0
21	33,66 ab	12,13	36,03%	23,0	68,0

Se observan diferencias significativas entre la muestra testigo y las maderas que han sido sumergidas en agua en un periodo menor a 21 días.

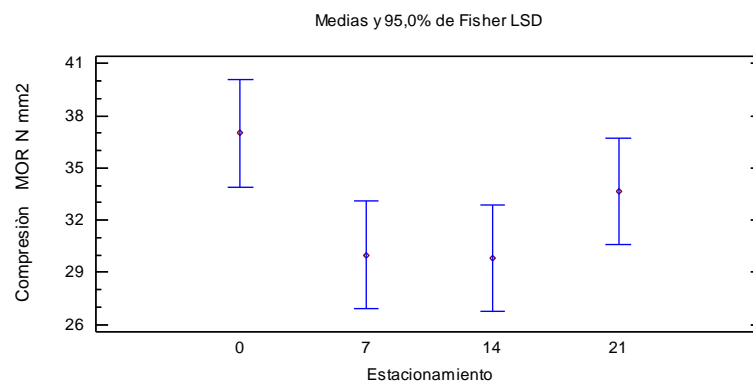


Figura 6.6. Comparación de medias de los 4 tratamientos

En la Figura 6.6 Se observa la comparación de medias de los 4 tratamientos.

En la tabla 6.12 se encuentran los valores promedios de modulo de elasticidad a la compresión de las maderas tratada y no tratadas del *Pinus elliotii*.

**Tabla 6.12.** Valores promedios de modulo de elasticidad MOE a la compresión de las maderas tratada y no tratadas del *Pinus elliotii*

Tratamiento (días)	Módulo de Elasticidad N/mm <sup>2</sup>	D.S	C.V %	Mínimo	Máximo
0	1667,08 a	233,58	14,01%	1188,9	1953,6
7	1366,65 b	238,80	17,47%	903,6	1634,5
14	1235,99 b	190,07	15,37%	935,3	1524,2
21	1266,15 b	173,22	13,68%	1057,0	1630,6

Los módulos elasticidad a la compresión paralela a las fibras presentan diferencias estadísticamente significativas por la permanencia de los rollos en agua, respecto a la madera que no ha sido sumergida en agua.

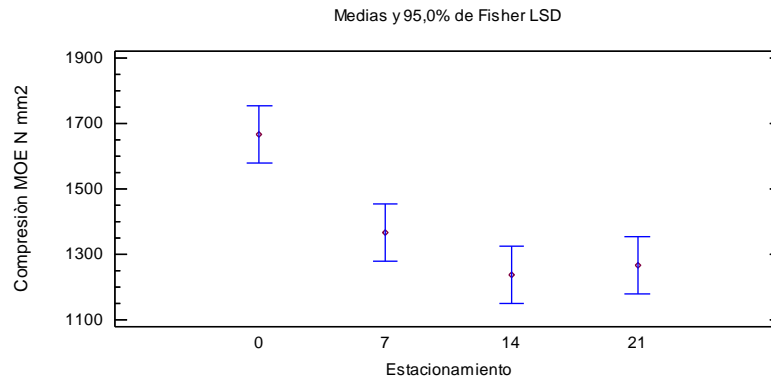


Figura 6.7. Comparación de medias de los 4 tratamientos

En la Figura 6.7 Se observa la comparación de medias de los 4 tratamientos.

### 6.5.3 Dureza Janka

Los valores medios obtenidos en los ensayos de dureza Janka en la superficie tangencial de la madera de *Pinus elliotii* testigo y tratadas, se presentan en la tabla 6.13.

Tabla 6.13: Dureza Janka tangencial de la madera de *Pinus elliotii* testigo y con 7 días, 14 días y 21 días sumergidas en agua.

Tratamiento (días)	Dureza tangencial kg/cm <sup>2</sup>	D.S kg/cm <sup>2</sup>	CV %
0	291,86a	48,73	16,68
7	256,40bc	18,65	7,27
14	284,01ab	25,54	8,99
21	231,41c	22,77	9,83

Se observa en la tabla los valores de dureza Janka tangencial que existe diferencia estadísticamente significativa entre la madera testigo y las maderas sumergidas en agua por 7 y 21 días.

El valor medio de dureza Janka tangencial para madera testigo, presenta valor inferior al obtenido por González *et al.* (45).

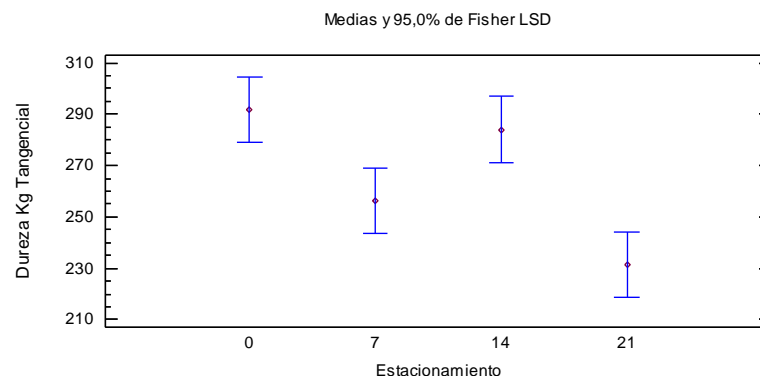


Figura. 6.8: Comparación de medias de la dureza Janka tangencial para los 4 tiempos de estacionamiento de la madera de *Pinus elliotii*.

En la Figura 6.8 se observa que los valores medios de dureza tangencial fueron menores a los 21 días con valores de 231,41 kg, 14 días con 284 kg, 7 días con 256,40 kg y 0

días con 291,86 kg. Observando el gráfico de media podemos decir que el tiempo de permanencia de la madera sumergida en agua tuvo efecto significativo sobre la dureza tangencial a los 21 días, pero no hay diferencia significativa entre los con 0 días, 7 días y 14 días.

En la tabla 6.14 podemos ver los valores promedios de dureza Janka en la superficie radial de los cuatro tratamientos

**Tabla 6.14:** Dureza Janka radial de la madera de *Pinus elliotii* testigo y con 7, 14 y 21 días sumergidas en agua.

Tratamiento (días)	Dureza radial kg/cm <sup>2</sup>	D.S kg/cm <sup>2</sup>	CV %
0	212,03a	32,40	15,28
7	218,59a	21,86	10,00
14	221,75a	24,24	10,93
21	187,24b	22,95	12,25

Los valores medios de dureza radial fueron menores a los 21 días con valores de 187,24 kg, 14 días con 221,75 kg, 7 días con 218,59 kg y 0 días con 212,03 kg.

El valor promedio de dureza Janka radial es inferior al estudiado por González *et al.* (45),

En la Figura 6.9 se ven la comparación de medias de los cuatro tratamientos de la madera de *Pinus elliotii*.

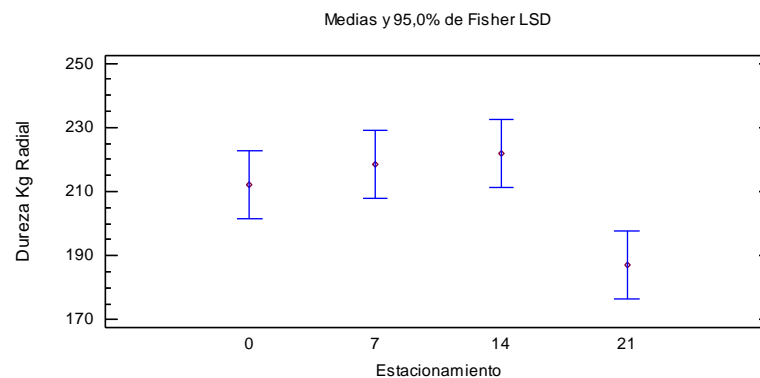


Figura 6.9 se ven la comparación de medias de los cuatro tratamientos.

Observando el gráfico de media podemos decir que el tiempo de permanencia en agua tuvo efecto significativo sobre la dureza radial a los 21 días, pero no hay diferencia significativa entre los con 0 días, 7 días y 14 días.

### 6.6 Desgaste

Los valores de desgaste se presentan en la tabla 6.15 para los tiempos de inmersión de 0, 7, 14 y 21 días.

**Tabla 6.15:** Valores de desgaste

Tratamiento (días)	Desgaste %	D.S %	CV %
0	8,1a	1,02	12,71
7	7,86a	1,37	17,51
14	16,63b	0,10	10,71
21	4,24c	0,87	20,57

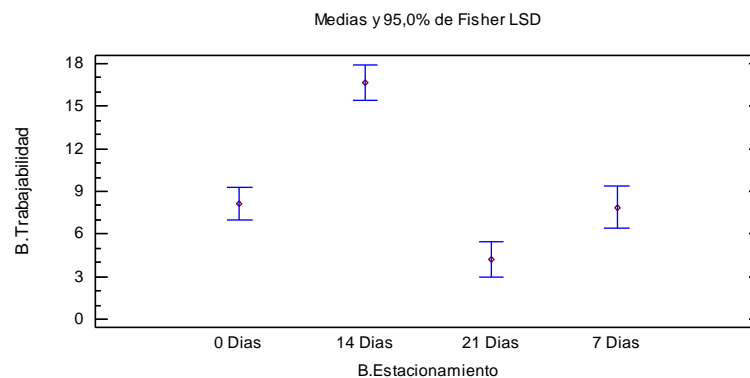


Figura 6.10: Comparación de los valores medios de desgaste de los 4 tiempos de inmersión

En la figura 6.10 se pueden observar los valores medios de desgaste fueron menores a los 21 días con valores de 4,24, luego 7 días con valores de 7,86, 14 días con un valor de 16,63 y 0 días con un valor de 8,1.

## 6.7 Durabilidad

En la tabla 6.16 se presentan los valores promedios de pérdida de peso de la madera de *Pinus elliotii* para los cuatro tratamiento que fueron sometidas a la acción del hongo *Laetiporus*.

**Tabla 6.16:** Valores promedio de pérdida de peso de la madera de *Pinuus elliotii* para los cuatro tratamientos frente a la acción del hongo *Laetiporus*

Tratamiento (días)	% Pérdida de peso	D.S	C.V %
0	60,00a	2,94	4,90
7	44,75a	8,18	18,27
14	45,75a	12,76	27,89
21	57,51a	18,69	32,52

Se observa que los valores de pérdida de peso frente a la acción del hongo *Laetiporus* supera el 30% por lo que los cuatro tratamiento se consideran como maderas percedera según la clasificación de Findlay. La madera que mas pérdida de peso presento fue la madera testigo. Valores similares a los del *Pinus taeda* obtenidos por Bobadilla *et al.* (47).

En la Figura 6.11 se presentan las comparaciones de medias de los cuatro tratamientos de la madera sometida a la acción del hongo *Laetiporus*.

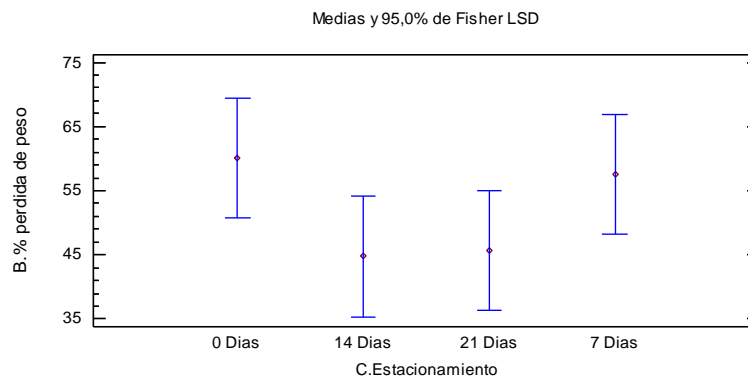


Figura 6.11 Comparación de las medias de la pérdida de peso de los cuatro tratamientos



No denota diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto a la pérdida de peso de las maderas frente a la acción del hongo *Laetiporus*.

En la tabla 6.17 se presentan los valores promedios de pérdida de peso de la madera de *Pinus elliotii* para los cuatro tratamientos que fueron sometidas a la acción del hongo *Ganoderma*.

**Tabla 6.17:** Valores promedio de pérdida de peso de la madera de *Pinus elliotii* para los cuatro tratamiento frente a la acción del hongo *Ganoderma*.

Tratamiento (días)	% Pérdida de peso	D.S	C.V %
0	6,0a	3,16	52,70
7	3,5a	3,10	88,83
14	4,5a	4,04	89,81
21	3,5a	2,88	82,47

Como se puede ver en la tabla, el tratamiento testigo presento el mayor porcentaje de pérdida de peso frente a la acción del hongo *Ganoderma*, considerándose madera moderadamente resistente y las maderas sumergidas en agua 7, 14 y 21 días como resistente según la clasificación de Findlay.

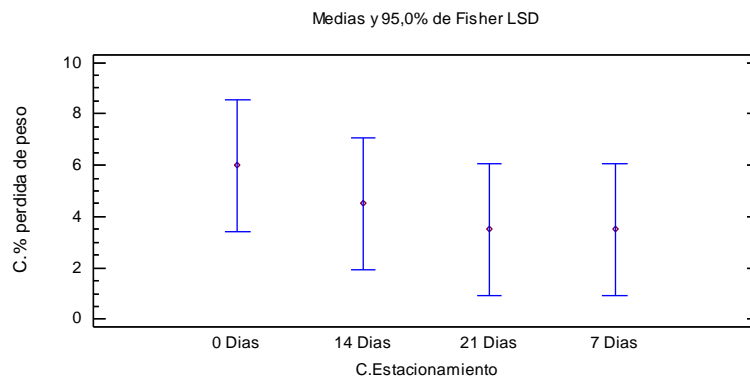


Figura. 6.12: Comparación de las medias de la pérdida de peso de los cuatro tratamientos

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

En la figura 6.12, para el caso del hongo *Ganoderma*, la susceptibilidad al ataque resulto ser prácticamente la misma independiente de la permanencia del tiempo bajo riego.

## **7 CONCLUSIONES**

De los resultados obtenidos en este trabajo sobre las propiedades de la madera de *Pinus elliotii* testigo y sumergidas en agua durante diferentes tiempos se encontraron diferencias significativas en algunas propiedades.

La densidad básica presento diferencias estadísticamente significativa entre la madera sin sumergir en agua y las sumergidas y entre estas, la diferencia fue entre 7 días y las de 14 y 21 días. Ocurrendo el mismo comportamiento para la densidad anhidra y estacionada.

La contracción total axial arrojo diferencia estadísticamente significativa entre la madera testigo y la tratada con 21 días. Entre las tratadas la diferencia estadística se presento entre 7 y 21 días.

La contracción total radial presento diferencia estadísticamente significativa entre la madera tratada con 21 días y las 0, 7 y 14 días.

La contracción total en la dirección tangencial ha presentado diferencias estadísticamente significativa entre la madera de 0 y 14 días. Entre las maderas de 7, 14 y 21 días no hubo diferencias significativas.

Los mayores tiempos de inmersión en agua de las madera produjo una disminución en los valores de las contracciones totales, significando una mejora en la estabilidad de la madera.

El modulo de rotura y elasticidad a la flexión estática de la madera testigo presento diferencia estadísticamente significativa respecto a las maderas sumergidas durante 7, 14 y 21 días.

En cuanto al modulo de rotura a la compresión paralela a las fibras no se observaron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos.

El modulo de elasticidad a la compresión paralela a las fibras de la madera testigo presento diferencias estadísticamente significativas respecto a la madera sumergidas 7 y 14 días, pero no se observo diferencias respecto de la madera sumergida 21 días.

El hecho de que no se observen diferencias significativas entre la muestra testigo y la sumergida en agua durante 21 días pero si existen respecto a las muestras de menor cantidad de días no permitirán concluir adecuadamente respecto a esta propiedad, con lo cual debería realizarse mayor cantidad de observaciones.

La dureza Janka tangencial entre la madera testigo y la madera de 21 días arrojó diferencias significativas.

La dureza radial ha presentado diferencia significativa entre la madera de 21 días y las de 7, 14 y testigo.

Los tratamientos de inmersión en agua de las maderas provocaron una disminución en los valores de dureza Janka.

El desgaste de la madera sumergida 21 días arrojó valores medios menores cuando el tiempo de inmersión fue de 21 días respecto de la madera testigo.

La durabilidad de las maderas testigo y sumergidas en agua, frente a la acción de los hongos *Laetiporus* y *Ganoderma* no arrojaron diferencias estadísticamente significativas.

Para ambos casos se observo que la pérdida de peso fue inferior en las maderas sumergidas en agua.

## 8 BIBLIOGRAFIA

65

1. Forestación y uso de bosques implantados por provincia. SAGPyA <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/DCSyLD/file/Atlas%20argentino/36.pdf>. 2001.
2. **Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina Documento de trabajo.** Informe Nacional Argentina. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO Italia 2004.
3. **Argentina Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. Secretaría de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación.** Bs As. Diciembre 2001.
4. **Ministerio Ecología Misiones** <http://www.ecologia.misiones.gov.ar> 2001
5. **Ley Nacional 25080.** Inversiones para bosques cultivados. 2008
6. **Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables.** 2006
7. **Du Toit et. al,** 1998; Simpson et. al, 1998; Samuelson, et al., 2004 De Lungo et. al., 2006
8. **Suirezs, Teresa María.** Guía de Clase: Propiedades Físicas y Mecánica de la Madera. 2009
9. **Keil,** Theories seem to tell us what features to emphasize in learning new concepts as well. 2002
10. **Scheffer y Cowling,** Natural resistance of wood to microbial deterioration. 1966,
11. **CLEMENT, J.** Les Sustances Naturelles Insecticidas Desplantes. 1990.

12. **MARTINEZ, J. B.** Conservación de madera en sus aspectos teóricos, industrial y económica. Volumen I. Ministerio de Agricultura. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid.1952
13. **CARBALLEIRA LÓPEZ, SIDNEY, GONZALO & MILANO.** Manual de Preservación de Maderas Vol. II, Capitulo 10. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de San Paulo. **1986.**
14. **WILKINSON, J. G. Industrial Timber preservation.** Associated business press. London. 1979
15. **ROLLAN Mariano Garcia.** Hongos de la Madera. Editorial: Graficas Agenjo Pag.: 243.1976
16. **AWPA, AMERICAN WOOD PRESERVERS ASSOCIATION.** Standard P - Standards for waterborne Preservatives. 1996.
17. **BOBADILLA,;** Durabilidad natural de la madera de *Pinuselliottii* x *Pinuscaribeavar. Hondurensis* (pino híbrido) frente a la acción de dos especies de hongos xilófagos. **2007**
18. **SAGPyA,** Plan estratégico para el desarrollo de las pequeñas y medianas industrias madereras de la provincia de Misiones y noreste de Corrientes. Informe STCP Engenharia de proyectos Ltda. 2002
19. **Gonzalez, R. Pereyra, O. Suirezs, T.** Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de *Pinuselliottii* reforestado en la Provincia de Misiones, Argentina. Yvyrareta Año 3 N° 3. Pg.5-19. 1992
20. **Mahild, Drying Technologies.** Secado de la madera. 2007 Pg.4
21. **Coronel, E. O.:** Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Facultad de ciencias forestales. Santiago del Estero.. Pg. 187. Argentina. 1994

22. **Muñiz, G. I.** Caracterizacáo e desenvollvimento de modelos para estimar laspropiedades e o comportamiento na secagem da madeira de Pinus elliotiiEngellm. e Pinus taeda L.. Pg.235. Curitiba 1993
23. **ESAU K.:** Anatomía de las plantas con semilla. Universidad de California, Santa Barbara, California. E.U.A.. Pg. 512. 1993
24. **Bohren, Alicia;** Grance, Luis. Curso de anatomía de la madera de coníferas. Facultad de Ciencias Forestales..p.14-15;68-69. Marzo 2003
25. **Tinto, J.C.:** "Manual para tratamieto protectores de productos forestales". Consejo General de inversiones. Argentina. Pg. 62. 1978.
26. **Sparnochia, L.,** Presentado en las III Jornadas sobre Pinos subtropicales. Actas, Tomo 2. CIEF. Eldorado, Misiones. **1992**
27. **SUIREZS, T.; PEREYRA, O.; ELGERTH, R.; MAGNAGO, S.** Propiedades de la madera de Pinus elliotii eng. de 13, 16 y 18 años de edad cultivados en la provincia de Misiones-Argentina. IV Congreso Iberoamericano de Investigación en celulosas y papel. **2006**
28. **Coronel, Eduardo.** Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Segunda parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de la madera. 2da parte. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1995
29. **Kollmann Franz.** Princeples of wood science and technology. 1998.
30. **IRAM.** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). N° 9532. Método de determinación de humedad. Buenos Aires. 1963.
31. **IRAM.** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). N° 9543. Método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. Buenos Aires. 1966.
32. **Normas DINN°52186** (Deutsche Industrie Norm)

33. **Normas ASTM** (American Society for Testing and Materials)
34. **IRAM.**(Instituto Argentino de Racionalización de Materiales).N° 9545. Método de ensayo de flexión estática.Buenos Aires. 1973.
35. **IRAM.** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). N° 9541. Método de ensayo de compresión axial a las fibras. Buenos Aires. 1973.
36. **IRAM.** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales).N° 9570. Método de ensayo de la dureza Janka. Buenos Aires. 1971.
37. **Kollmann Franz.** Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo primero. Instituto forestal de investigaciones y experiencias y servicio de la madera. Madrid 1959.
38. **botit.botany.wisc.edu/tomsfungi/march99.html**
39. **ROLLAN MARIANO GARCIA.** Hongos de la Madera Editorial: Graficas Agenjo. Pg. 243. **1976.**
40. Página [darnis.inbio.ac.cr/ubisen/FMPro?-DB=UBIPUB.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html](http://darnis.inbio.ac.cr/ubisen/FMPro?-DB=UBIPUB.fp3&-lay=WebAll&-error=norec.html)
41. **FINDLAY, W. P. K.** The value of laboratory test on Woodpreservative. Convention British Wood Preserving Association. 1938.
42. **IRAM.** (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). N° 9544. “Método de determinación de la densidad aparente”. Buenos Aires. 1973.
43. **GONZALEZ, R. A.; PEREYRA, O.; SUIREZS, T.,** Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus elliotii Eng. reforestado en Misiones, Argentina. Yvyrareta N° 3. Pag. 5. 1992.
44. **BOBADILLA,E.; SUIREZS, T.; PEREYRA, O.; WEBER, E.; SILVA, F.; STEHR, A.** Durabilidad de la madera del Pinus taeda. L. impregnado con cupro-cromo arsenicales, frente a hongos xilófagos. Misiones. Argentina. Revista FLORESTA Volumen 37 número 1. FUPEF. Universidad Federal do Paraná. **2007.**



*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

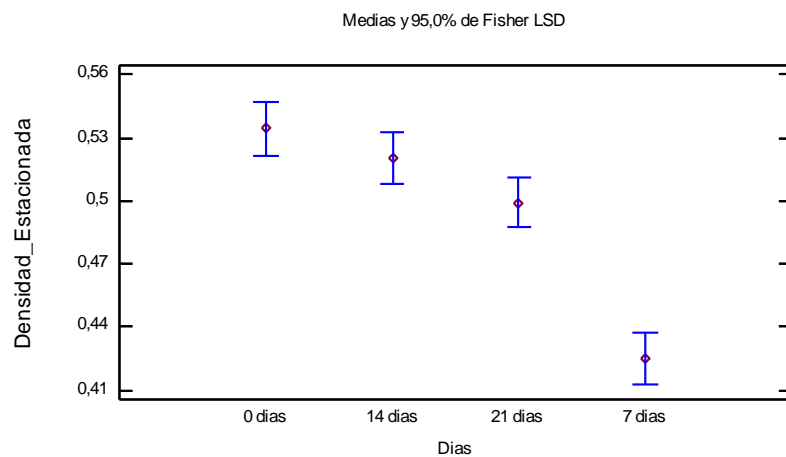
45. **Suirezs Teresa M.; Weber E. M.; Bobadilla E.A.;Bragañolo A.; Acevedo P.; Palacio M.** INFLUENCIA DE LA DIMENSIÓN DE PROBETAS DE MADERA EN LA ESTIMACION DE LA DUREZA JANKA. XVI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado. Misiones. ISSN.1668-5385. 2014.
46. Libro del Árbol, Celulosa Argentina. Bs. As. 1977.

## 9 ANEXO I, ANALISIS de ENSAYOS

### 9.1 Propiedades físicas

**Resumen Estadístico para Densidad\_Estacionada**

<i>Dias</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0 días	11	0,534	0,0482	9,02%	0,466	0,599	0,133	0,00384	-0,955
14 días	12	0,521	0,0202	3,89%	0,494	0,556	0,0617	0,33	-0,849
21 días	12	0,499	0,016	3,2%	0,476	0,527	0,0509	0,547	-0,579
7 días	12	0,425	0,0258	6,08%	0,396	0,471	0,0748	0,824	-0,581
Total	47	0,494	0,0516	10,4%	0,396	0,599	0,203	-0,55	-0,36



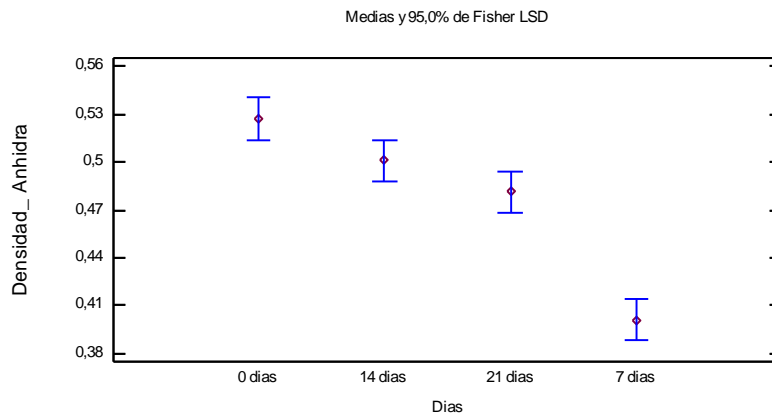
### Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad Estacionada por Dias

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Dias</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
7 días	12	0,425	X
21 días	12	0,499	X
14 días	12	0,521	XX
0 días	11	0,534	X

**Resumen Estadístico para Densidad Anhidra**

Días	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
0 días	12	0,527	0,0521	9,87%	0,448	0,605	0,158	0,047	-0,852
14 días	12	0,501	0,0308	6,15%	0,464	0,574	0,11	1,68	1,09
21 días	12	0,481	0,014	2,92%	0,466	0,504	0,0386	0,774	-0,988
7 días	12	0,401	0,0174	4,34%	0,383	0,434	0,0508	0,926	-0,577
Total	48	0,478	0,057	11,9%	0,383	0,605	0,222	0,351	-0,381



**Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad Anhidra por Días**

Método: 95,0 porcentaje LSD

Días	Casos	Media	Grupos Homogéneos
7 días	12	0,401	X
21 días	12	0,481	X
14 días	12	0,501	XX
0 días	12	0,527	X

**Densidad Básica**

**Tabla ANOVA para Densidad gr/cm<sup>3</sup> por estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,0509896	3	0,0169965	5,10	0,0041
Intra grupos	0,146495	44	0,00332943		
Total (Corr.)	0,197484	47			

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Densidad gr cm<sup>3</sup> entre un nivel de Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla: Resumen estadístico Densidad**

Tratamiento (días)	Promedio gr/cm <sup>3</sup>	Variación % Respecto a 0 días	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo gr/cm <sup>3</sup>	Máximo gr/cm <sup>3</sup>
0	0,43		0,10	24,32	0,116	0,51
7	0,36	83,72%	0,01	5,44	0,33	0,39
14	0,44	97,72%	0,01	3,91	0,419	0,47
21	0,44	97,72%	0,03	8,36	0,417	0,555

**9.2 Contracciones**

**Contracción Axial Total**

En la tabla se presentan los valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación en el sentido axial de la contracción total de los 4 tratamientos.

El análisis de varianza es significativo para la contracción axial total siendo el tratamiento de 21 días superior.

Tratamiento (días)	Promedio %	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo %	Máximo %
0	0,11	0,02	23,09	0,06	0,16
7	0,14	0,07	49,65	0,06	0,26
14	0,19	0,08	45,03	0,06	0,39
21	0,29	0,18	63,03	0,13	0,63

### Contracción Radial Total

En la tabla se presentan los valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación en el sentido axial de la contracción total de los 4 tratamientos.

El análisis de varianza es significativo para la contracción radial total

**Tabla ANOVA para Contrac Radial Total por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	12,5413	3	4,18044	6,25	0,0012
Intra grupos	29,4178	44	0,668586		
Total (Corr.)	41,9591	47			

Tratamiento (días)	Promedio gr/cm <sup>3</sup>	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo gr/cm <sup>3</sup>	Máximo gr/cm <sup>3</sup>
0	3,53	0,40	11,52%	2,71	4,03
7	3,38	0,62	18,33%	2,1	4,27
14	3,56	1,37	38,57%	1,82	6,44
21	2,32	0,48	20,83%	1,31	3,04
Total		0,94	29,49%	1,31	6,44

### Contracción tangencial total

En la tabla se presentan los valores medios, desvió estándar, coeficiente de variación en el sentido tangencial de la contracción total de los 4 tratamientos.

El análisis de varianza es significativo para la contracción tangencial total.

**Tabla ANOVA para ContracTang Total por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8,28517	3	2,76172	3,22	0,0316
Intra grupos	37,7138	44	0,857132		
Total (Corr.)	45,999	47			

Tratamiento (días)	Promedio gr/cm <sup>3</sup>	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Mínimo gr/cm <sup>3</sup>	Máximo gr/cm <sup>3</sup>
0	4,88	1,33	27,25%	3,41	7,41
7	4,40	0,81	18,47%	3,08	5,88
14	3,74	0,42	11,26%	3,01	4,38
21	4,10	0,90	22,03%	2,1	5,63
Total	4,28	0,98	23,09%	2,1	7,41

Método: 95,0 porcentaje LSD

<i>Estacionamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
14	12	3,74583	X
21	12	4,1075	X
7	12	4,40417	XX
0	12	4,88	X

**PROPIEDADES MECANICAS**  
**FLEXION ESTATICA**

**Resumen Estadístico para Flexión estática MOR**

<i>Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0	12	1614,0	220,511	13,6624%	1235,99	1911,59	675,594
7	12	1095,38	190,882	17,4262%	812,58	1422,79	610,214
14	12	1142,85	240,955	21,0836%	775,22	1687,43	912,208
21	12	1121,14	157,101	14,0126%	825,034	1332,51	507,473
Total	48	1243,34	293,823	23,6317%	775,22	1911,59	1136,37

<i>Estacionamiento</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0	-0,900023	-0,591906
7	0,055154	-0,487905
14	1,13338	0,891975
21	-0,570797	-0,257224
Total	1,71135	-0,546728

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Flexión estática Carga Rotura N para cada uno de los 4 niveles de Estacionamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. Selecciones Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

**Tabla ANOVA para Flexión estática Carga Rotura N por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,21178E6	3	737260,	17,57	0,0000
Intra grupos	1,84581E6	44	41950,3		
Total (Corr.)	4,0576E6	47			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de Flexión estática Carga Rotura N en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 17,5746, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor

que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Flexión estática Carga Rotura N entre un nivel de Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**MOR**

**Tabla ANOVA para MOR N mm<sup>2</sup> por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5304,67	3	1768,22	16,82	0,0000
Intra grupos	4624,98	44	105,113		
Total (Corr.)	9929,65	47			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de MOR N mm<sup>2</sup> en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 16,8221, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de MOR N mm<sup>2</sup> entre un nivel de Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Resumen Estadístico para MOR N mm<sup>2</sup>**

<i>Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0	12	84,6458	9,67174	11,4261%	67,3	98,7	31,4
7	12	58,95	11,8192	20,0495%	42,7	85,6	42,9
14	12	62,225	10,9667	17,6243%	47,9	86,5	38,6
21	12	60,375	8,18215	13,5522%	45,3	72,0	26,7
Total	48	66,549	14,5351	21,8412%	42,7	98,7	56,0

<i>Estacionamiento</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0	-0,468425	-0,365583
7	1,14778	0,813037
14	1,1306	0,555895
21	-0,572065	-0,539013
Total	1,41638	-0,771839



**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de MOR N mm<sup>2</sup> para cada uno de los 4 niveles de Estacionamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, listados aquí bajo la columna de Promedio. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

**MOE**

**Tabla ANOVA para MOE N / mm<sup>2</sup> por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	6,84312E7	3	2,28104E7	16,56	0,0000
Intra grupos	6,06079E7	44	1,37745E6		
Total (Corr.)	1,29039E8	47			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de MOE N mm<sup>2</sup> en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 16,5598, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de MOE N mm<sup>2</sup> entre un nivel de Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Resumen Estadístico para MOE N / mm<sup>2</sup>**

<i>Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0	12	8879,09	774,12	8,71%	7763,45	9964,64	2201,19
7	12	5702,67	1515,37	26,57%	3535,25	8289,8	4754,55
14	12	6307,83	1193,71	18,92%	4560,25	8924,09	4363,84
21	12	6828,99	1090,53	15,96%	5281,16	8807,82	3526,66
Total	48	6929,65	1656,96	23,91%	3535,25	9964,64	6429,39

<i>Estacionamiento</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0	-0,206883	-1,1154
7	0,622117	-0,72327
14	1,00623	0,834787
21	0,660509	-0,502965
Total	0,0866679	-1,27215

### **El StatAdvisor**

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de MOE N mm<sup>2</sup> para cada uno de los 4 niveles de inmersión. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, listados aquí bajo la columna de Promedio. Seleccione Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

### **DUREZA RADIAL**

#### **Tabla ANOVA para Dureza Kg en sentido Radial por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	8809,39	3	2936,46	4,44	0,0082
Intra grupos	29069,3	44	660,666		
Total (Corr.)	37878,7	47			

### **El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de Dureza Kg Radial en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4,4447, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Dureza Kg Radial entre un nivel de inmersión y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Resumen Estadístico para Dureza Kg en sentido Radial**

<i>Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0	12	212,03	32,40	15,28%	135,7	259,0	123,3
7	12	218,59	21,86	10,00%	187,7	255,3	67,6
14	12	221,75	24,24	10,93%	184,4	264,5	80,1
21	12	187,24	22,95	12,25%	153,9	216,6	62,7
Total	48	209,90	28,38	13,52%	135,7	264,5	128,8

<i>Estacionamiento</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0	-1,4218	1,38468
7	0,402818	-0,755997
14	0,453966	-0,531391
21	-0,400206	-1,18584
Total	-0,935493	0,217712

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Dureza Kg Radial para cada uno de los 4 niveles de Estacionamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, listados aquí bajo la columna de Promedio. Selecciones Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

**DUREZA TANGENCIAL**

**Tabla ANOVA para Dureza Kg Tangencial por Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	27372,8	3	9124,27	9,37	0,0001
Intra grupos	42841,1	44	973,661		
Total (Corr.)	70213,9	47			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de Dureza Kg Tangencial en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 9,37109, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Dureza Kg Tangencial entre un nivel de Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

**Resumen Estadístico para Dureza Kg en sentido Tangencial**

<i>Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0	12	291,867	48,7372	16,6984%	237,1	391,9	154,8
7	12	256,408	18,657	7,27629%	220,2	289,4	69,2
14	12	284,0	25,549	8,99611%	242,3	324,8	82,5
21	12	231,417	22,7705	9,83961%	179,4	253,1	73,7
Total	48	265,923	38,6512	14,5347%	179,4	391,9	212,5

<i>Estacionamiento</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
0	1,44608	0,00297901
7	-0,153172	0,30166
14	-0,507078	-0,401605
21	-1,66792	0,679902
Total	2,60634	2,80491

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Dureza Kg Tangencial para cada uno de los 4 niveles de Estacionamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. Selecciones Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas para mostrar gráficamente las medias.

**DURABILIDAD (Hongo Lauteporius)**

**Tabla ANOVA para B.% pérdida de peso por C. Estacionamiento**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	743,5	3	247,833	1,69	0,2229
Intra grupos	1764,5	12	147,042		
Total (Corr.)	2508,0	15			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de B.% pérdida de peso en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,68546, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de B.% pérdida de peso entre un nivel de C. Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

**Resumen Estadístico para B.% pérdida de peso**

<i>C.Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0 Días	4	60,0	2,94392	4,90653%	56,0	63,0	7,0
14 Días	4	44,75	8,18026	18,2799%	40,0	57,0	17,0
21 Días	4	45,75	12,7639	27,8992%	30,0	61,0	31,0
7 Días	4	57,5	18,6994	32,5207%	41,0	81,0	40,0
Total	16	52,0	12,9306	24,8665%	30,0	81,0	51,0

**DURABILIDAD (Hongo Ganoderma)**

**Resumen Estadístico para B.% Pérdida de peso Ganoderma**

<i>B.Estacionamiento</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
0 Días	4	6,0	3,16228	52,7046%	2,0	9,0	7,0
14 Días	4	4,5	4,04145	89,81%	1,0	8,0	7,0
21 Días	4	3,5	2,88675	82,4786%	1,0	6,0	5,0
7 Días	4	3,5	3,10913	88,8322%	1,0	8,0	7,0
Total	16	4,375	3,15964	72,2204%	1,0	9,0	8,0

**Tabla ANOVA para C.% pérdida de peso por inmersión**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	16,75	3	5,58333	0,50	0,6869
Intra grupos	133,0	12	11,0833		
Total (Corr.)	149,75	15			

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de C.% pérdida de peso en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

este caso es igual a 0,503759, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de C.% pérdida de peso entre un nivel de C. Estacionamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza

**Tabla de Medias para C.% pérdida de peso por inmersión con intervalos de confianza del 95,0%**

			<i>Error Est.</i>		
<i>C.Estacionamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>(s agrupada)</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
0 Días	4	6,0	1,66458	3,43545	8,56455
14 Días	4	4,5	1,66458	1,93545	7,06455
21 Días	4	3,5	1,66458	0,93545	6,06455
7 Días	4	3,5	1,66458	0,93545	6,06455
Total	16	4,375			

**El StatAdvisor**

Esta tabla muestra la media de C.% pérdida de peso para cada nivel de C. Inmersión. También muestra el error estándar de cada media, el cual es una medida de la variabilidad de su muestreo. El error estándar es el resultado de dividir la desviación estándar mancomunada entre el número de observaciones en cada nivel. La tabla también muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se solaparán un 95,0% de las veces. Puede ver gráficamente los intervalos seleccionando Gráfico de Medias de la lista de Opciones Gráficas. En las Pruebas de Rangos Múltiples, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

**10 ANEXO II FOTOS**



Foto 1. Rollos de muestra para ensayos



Foto 2. Rollos de muestra para ensayos, identificación

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 3. Rollos de muestra para ensayos identificación por tratamiento



Foto 4. Rollos de muestra para ensayos Identificación de los extremos



*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 5. Preparación de las muestras



Foto 6. Inmersión de las muestras



Foto 7. Rollos de muestra Sumergidos



Foto 8. Rollos de muestra en aserradero



Foto 9. Obtención de Piezas para las muestras



Foto 10. Muestra para ensayos dentro de cámara de secado

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 11. Cepillado de las muestras



Foto 12. Cepillado de las muestras, ambas caras

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 13. Muestras Cepilladas



Foto 14. Probetas para ensayos



Foto 15. Probetas de ensayos Dureza Janka y contracciones



Foto 16. Probetas dureza Janka y contracciones

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 17. Probetas



Foto 18. Probetas para ensayos



Foto 19. Probetas para medición de contracción



Foto 20. Probeta para ensayos





Foto 21. Probeta para ensayos dureza Janka



Foto 22. Probeta para ensayos de Flexión



Foto 23. Probetas ensayos contracción Tangencial



Foto 24. Probetas, cortes radial, tangencial y Axial

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*

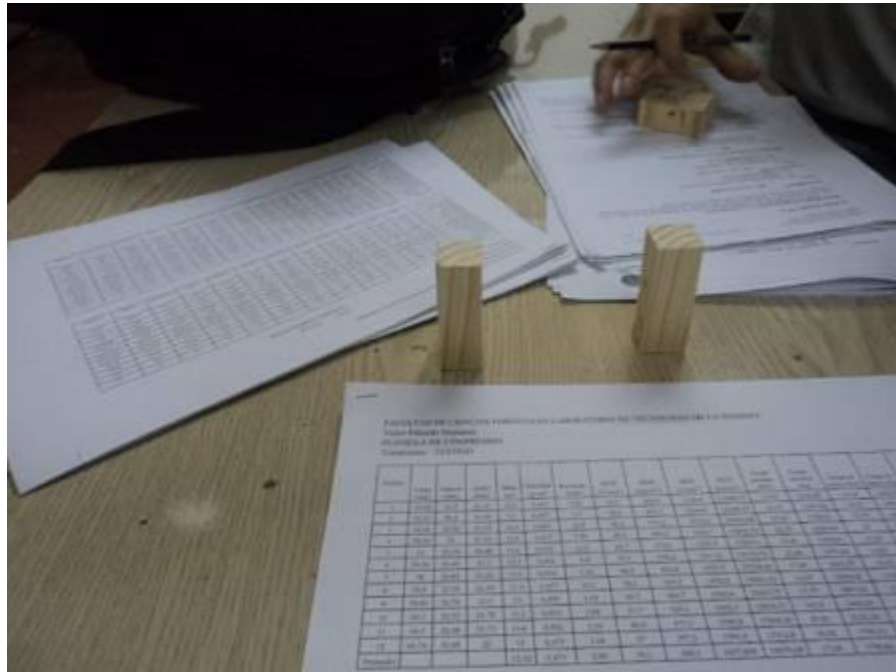


Foto 25. Rollos de muestra para ensayos dentro cámara de secado



Foto 26. Pieza para ensayo Dureza Janka



Foto 27. Ensayo Flexión



Foto 28. Ensayo Flexión

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 29. Ensayo Flexión



Foto 30. Estufa para ensayo

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 31. Estufa para ensayo



Foto 32. Balanza de precisión

*ESTABILIDAD, RESISTENCIA MECANICA, DESGASTE Y DURABILIDAD DE LA MADERA DE Pinus elliotii SATURADA EN AGUA CON DISTINTOS TIEMPOS DE INMERSIÓN O BAJO RIEGO*



Foto 33. Balanza de precisión



Foto 34. Medición probeta, ensayos de contracción



Foto 35. Medición probeta ensayo de contracción



Foto 36. Medición probeta ensayo de contracción





Foto 37. Probetas madera testigo



Foto 38. Probetas madera 7 días

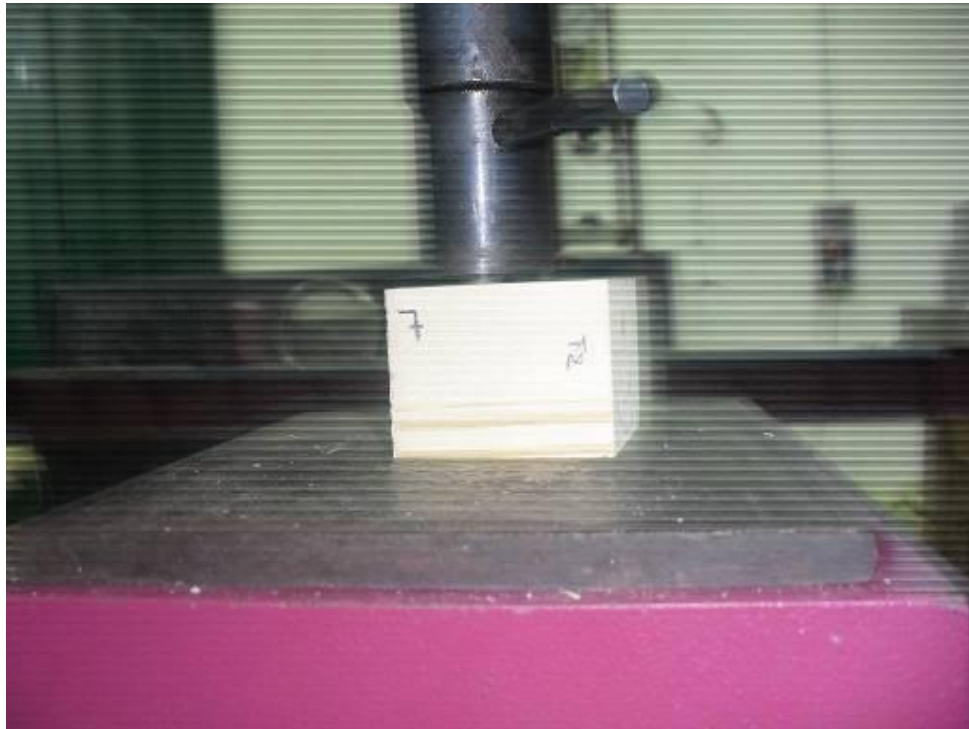


Foto 39. Ensayo dureza

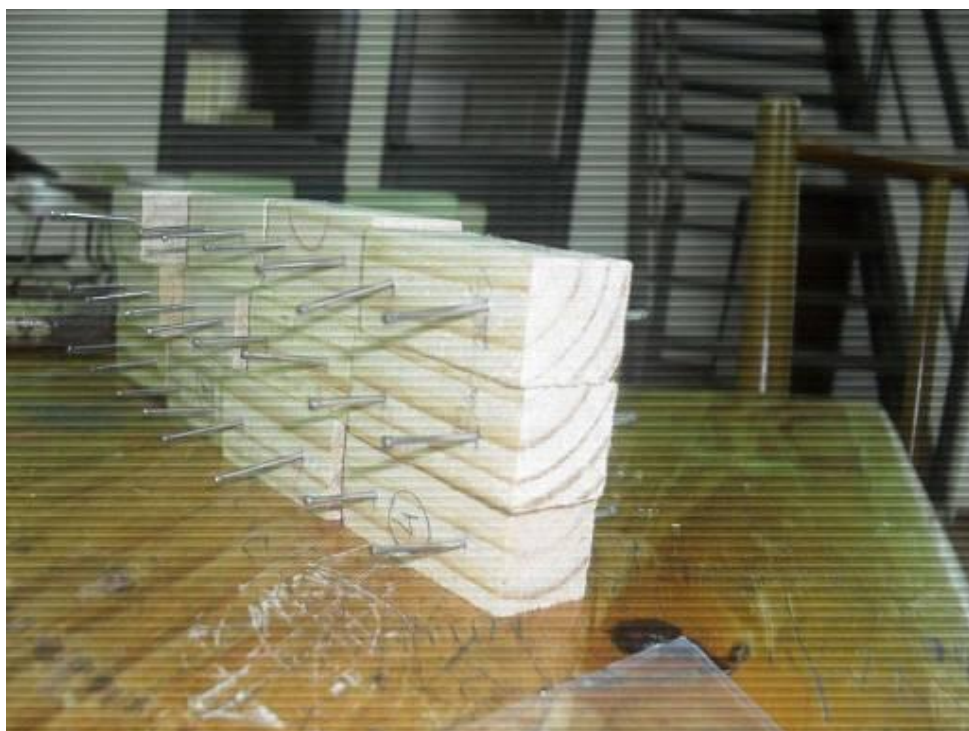


Foto 40. Probetas para ensayos contracción

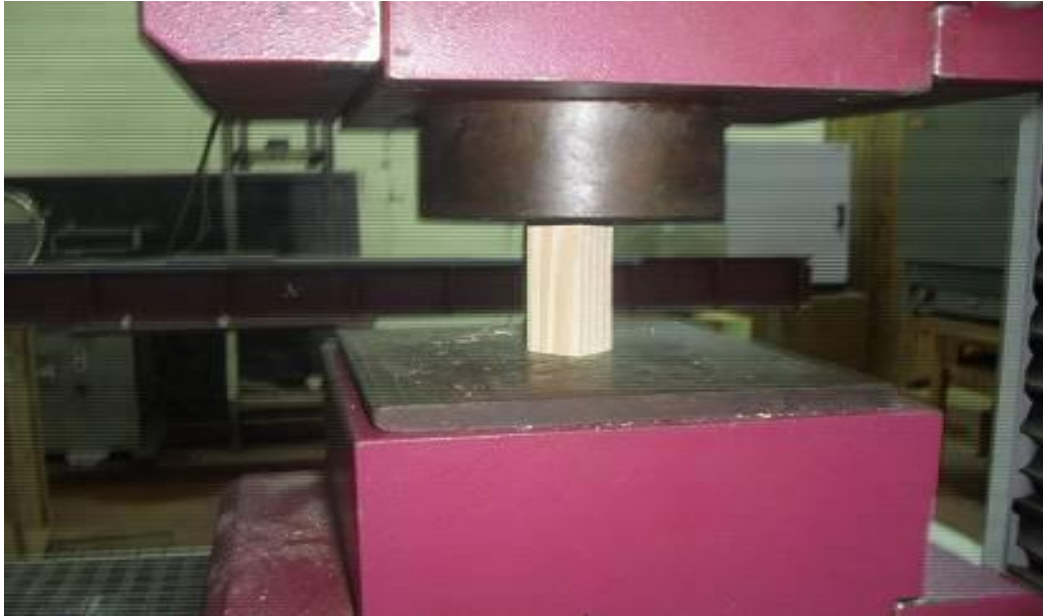


Foto 41. Ensayos de compresión



Foto 42. Probetas para ensayos de tracción