



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

**TRABAJO FINAL**

“Estudio de la durabilidad natural y de las propiedades tecnológicas de la madera de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton”

*“La piedra que desecharon los constructores es ahora la piedra angular”* (Salmo 117, 22)

**Alumno:** Felipe BENETTI

**Directora:** Lic. Mónica A. MURACE  
Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario

**Co Directora:** Ing. Forestal María M. REFORT  
Ayudante Diplomada Interina

**Áreas de Trabajo:**

Cursos

- Protección Forestal  
Departamento de Ambiente y Recursos Naturales
- Industrias de Transformación Mecánica  
Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP

**Lugar y Fecha de Presentación**  
La Plata, 30 de Octubre de 2015



## RESUMEN

*Ligustrum lucidum* W. T. Aiton., “Ligustro”, se comporta como invasora de los Bosques Nativos de nuestro país al igual que en otros lugares del mundo. La tala y extracción podrían convertir a esta especie problema en un recurso genuino y disminuir la presión que ejerce sobre las especies nativas. Las aplicaciones y situaciones de uso de una madera dependen de sus atributos tecnológicos y de su durabilidad. A la fecha, para esta madera existen antecedentes en torno a ello, surgidos de estudios anatómicos y de densidad que determinan su aptitud para usos no estructurales. Se consideró que la madera de Ligustro cuenta con atributos físico-mecánicos y de durabilidad natural que permiten ampliar sus posibilidades de uso como madera no estructural como así también estructural y en situaciones de alto riesgo para el deterioro. El objetivo del trabajo fue determinar los parámetros de contracción, propiedades mecánicas y la durabilidad natural de la madera de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton a fin de definir las aplicaciones y situaciones de uso para las que presenta aptitud. Se trabajó con madera obtenida de ejemplares provenientes de la Reserva Pearson (partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires). La caracterización tecnológica y la estimación de la durabilidad fueron realizadas según la normativa nacional vigente; los ensayos realizados fueron: contenido de humedad; densidad normal y densidad anhidra; cambios dimensionales; dureza; flexión estática; compresión paralela; compresión perpendicular y durabilidad natural como resistencia a la degradación fúngica por *Gloeophyllum sepiarium*. El análisis de los resultados obtenidos determinó que la madera de Ligustro es semi-pesada y dura; moderadamente inestable; un módulo de rotura alto y un módulo de elasticidad muy bajo en flexión; un valor muy alto para el módulo de rotura en compresión perpendicular y compresión paralela y que es resistente.

**Palabras clave:** propiedades físicas, propiedades mecánicas, resistencia a la degradación, aplicaciones, clases de riesgo de uso.



## Contenidos

Resumen.....	2
Contenidos.....	3
<b>Capítulo I</b>	
1.1 Introducción e Hipótesis.....	4
1.2 Objetivo general.....	7
1.3 Objetivos particulares.....	7
<b>Capítulo II</b>	
2. Materiales y Métodos.....	8
2.2.1 Propiedades físicas.....	9
2.2.2 Propiedades mecánicas.....	15
2.2.3 Durabilidad natural.....	21
2.4 Análisis estadístico.....	23
<b>Capítulo III</b>	
3. Resultados y Discusión.....	24
3.1 Propiedades Físicas.....	24
3.1.1 Contenido de Humedad y densidades aparentes.....	24
3.1.2 Cambios dimensionales.....	26
3.2 Propiedades Mecánicas.....	28
3.2.1 Dureza Janka.....	28
3.2.3 Flexión.....	30
3.2.4 Compresión paralela.....	33
3.2.5 Compresión perpendicular.....	36
3.3 Durabilidad.....	39
<b>Capítulo IV</b>	
4.1. Conclusiones.....	43
Bibliografía.....	44
Apéndice 1: Índices complementarios.....	47
Índice de Figuras.....	47
Índice de Fotos.....	47
Índice de Tablas.....	47
Actividades Optativas realizada y su vinculación con el Trabajo Final.....	48
Una historia, como la vida misma.....	49



## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

Elemento formador del paisaje, esencial en la constitución de la estructura y función de los bosques, fuente de materia prima para la obtención de productos madereros, alimento, medicina, montes de reparo o cortinas rompe viento, recreación y todo tipo de bienes y servicios, el Árbol ha contribuido y contribuye en infinidad de maneras al desarrollo de las comunidades biológicas y de las sociedades humanas.

Quizás, el elemento tangible más cercano o más fácilmente asociable con el árbol sea la madera. La misma representa algo muy importante en la vida del hombre, por cuanto ha desempeñado un rol verdaderamente significativo al avance de la civilización. Con ella se han elaborado herramientas, armas y una gran variedad de artículos, desde los muy simples hasta verdaderas obras de arte. La relación peso específico-resistencia mecánica altamente favorable, el bajo peso en relación al volumen, la facilidad para ser trabajada, de acoplar mediante uniones simples y su excelente función como aislante térmico, eléctrico y acústico la hacen una materia prima de altísima calidad. Sin embargo, la predisposición a la descomposición debido a su origen orgánico y la inestabilidad dimensional por ser un material higroscópico, particularmente acentuada por su anisotropía, pueden resultar factores limitantes en determinadas aplicaciones y situaciones de uso (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1988).

La estrecha relación hombre-árboles-maderas, determinaron que sea él quien se haya ocupado de introducirlos en sistemas donde no existían. La presencia de especies exóticas invasoras es una problemática extendida a nivel mundial y considerada como una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad después de la destrucción de los hábitats; estas invasoras alteran la estructura de las comunidades biológicas y el funcionamiento de los ecosistemas, compiten por espacio y nichos ecológicos con las especies autóctonas, pueden introducir plagas y enfermedades e hibridarse con especies indígenas filogenéticamente próximas (Grau & Aragón, 2000).

En nuestro país y a nivel mundial *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, “Ligustro”, (Oleaceae) es reconocido por su rol de invasora (Nebel & Porcile, 2006). Esta especie arbórea originaria del sudeste asiático (Grau & Aragón, 2000) se caracteriza por su porte que puede superar los 20 m de altura y por su tolerancia a condiciones ambientales adversas (sequías, heladas, poca insolación). En diversas partes del



mundo el Ligustro crece espontáneamente dentro de los bosques nativos posicionándose como potencial reemplazante de los árboles del estrato medio y superior de dichas áreas boscosas. Para esta especie, hay registros de invasión en países del continente africano (Mozambique y Sudáfrica), en EEUU (donde es considerada una maleza en varios estados del Sur), en Hawái, Australia, Nueva Zelanda e Islas Norfolk –Pacífico Sur– (Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, 2003, tomado de Schauman, 2011; Nebel & Porcile, 2006; USDA, 2011 tomado de Schauman, 2011). En la República Argentina el Ligustro también representa un problema, principalmente en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa, Salta y Tucumán. En esta última, se lo considera como una especie de alto grado de invasión que puede llegar a desplazar a los ejemplares nativos (SAyDS, 2014).

Si bien la mejor defensa contra las plantas invasoras es la que se sustenta en estrategias preventivas basadas en sistemas de vigilancia, se puede recurrir a un programa de erradicación de infestaciones establecidas. Entre las líneas de acción que se deben considerar, se debe propiciar la corta controlada y el manejo integrado de especies invasoras, especialmente de aquellas estrategias que ofrezcan alternativas de uso por su valor maderero reconocido o por ser fuente de otros productos forestales no madereros cuyas posibilidades se investiguen. De esta manera una especie problema puede transformarse en un recurso genuino (Nebel & Porcile, 2006).

Las aplicaciones y situaciones de uso de una madera sientan sus bases en el conocimiento de sus atributos tecnológicos y de su durabilidad y no menos importantes son los volúmenes y alturas comerciables posibles de obtener por ejemplar. En este sentido, análisis dendrométricos realizados a individuos de Ligustro creciendo en el partido de Magdalena (Buenos Aires) determinaron una altura total promedio de 12,25 m y una altura y volumen comercial medios de 8,70 m y 0,058 m<sup>3</sup>/árbol respectivamente, considerados importantes para la especie. En cuanto a los atributos tecnológicos, los escasos antecedentes registrados para esta especie fueron obtenidos mediante estudios anatómicos como también utilizando la densidad como un estimador de sus características mecánicas y de su trabajabilidad -o comportamiento al aserrado, maquinado, tranchado, debobinado, curvado al vapor, encolado, clavado y atornillado, recubrimiento superficial, entre otras- (INTI, 2015). En base a estos últimos, si bien se sugiere orientar su uso hacia productos de carpintería rural, elaboración de marcos para ventanas y puertas exteriores, ventanas y muros



macizos exteriores, en productos de madera corta (artesanías, mangos de herramientas, elementos deportivos y muebles entre otros) e inferirse también posibles usos en solados de diferente tipo, se considera necesario profundizar en propiedades mecánicas, cambios dimensionales y durabilidad a fin de obtener datos precisos acerca de sus atributos tecnológicos y de este modo definir otros usos posibles para esta madera (Nebel & Porcile, 2006; Schauman, 2011; Tinto, 1978; Tortorelli, 2009).

Según se indicó, las características tecnológicas de la madera determinan sus aplicaciones (Jovanovski et al., 2002). Las propiedades físicas constituyen un importante criterio de evaluación tecnológica ya que determinan el comportamiento de la madera ante los factores que intervienen en el medio ambiente sin que éste actúe química ni mecánicamente en su estructura interna (Coronel, 1994). Dentro de las propiedades físicas, si bien la densidad es una de las más relevantes dada su estrecha relación con otras propiedades físicas como así también con las mecánicas del material, los cambios dimensionales de una pieza de madera también aportan valores importantes a los fines de su caracterización tecnológica; éstos indican la variación de las dimensiones de una pieza cuando se manifiesta una disminución o aumento en su contenido de humedad (Coronel, 1994; Jovanovski et al., 2002).

En referencia a las propiedades mecánicas de la madera, son aquellas que definen la capacidad de este material para resistir cargas externas, excluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios en el contenido de humedad. Estas propiedades se agrupan de acuerdo al comportamiento de la madera ante la acción de una carga en el plano de corte en el que se aplica (radial, transversal, tangencial) como también de acuerdo a las modalidades de las cargas sobre las muestras, es decir, si éstas son estáticas o dinámicas y de su tiempo de aplicación (Coronel, 1995).

En cuanto a la durabilidad, es definida a los fines prácticos como la resistencia de la madera a la degradación fúngica, consecuencia de ser el tipo de deterioro más frecuente y agresivo en la madera en servicio. Este atributo permite estimar la vida útil esperable para el material en situaciones de alto riesgo para este tipo de deterioro (madera de uso exterior, en contacto con el suelo y/o agua) y, en función de ello, definir su uso más apropiado o bien su tratamiento con sustancias preservantes a fin de prolongar su utilidad en servicio (Zabel & Morrell, 1992; Díaz et al., 2003). El uso adecuado de la madera asegura una mayor expectativa de vida y, a causa de ello, se evitan los costos que implican sus sustituciones frecuentes (Díaz et al., 2003; Schauman, 2011).



De acuerdo con esto, si bien los antecedentes en torno a la densidad y a las características anatómicas permiten estimar las posibles aplicaciones de la madera de Ligustro, el conocimiento de los parámetros asociados a los cambios dimensionales, el de sus propiedades de resistencia mecánica y el conocimiento de su durabilidad natural permitirían conocer con mayor precisión su aptitud para las aplicaciones mencionadas (en términos generales madera no estructural) como así también para ser empleada como madera estructural y las situaciones de uso para las que presenta aptitud (madera de uso interior o bien exterior, con/sin contacto con el suelo o agua), entre otras.

Como **hipótesis de trabajo** se consideró que la madera de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton cuenta con atributos físico-mecánicos y de durabilidad natural que permitirían su utilización como madera no estructural y estructural, a emplear en situaciones de alto riesgo para el deterioro.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los parámetros de contracción, propiedades mecánicas y la durabilidad natural de la madera de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton a fin de definir las posibles aplicaciones para las que presenta aptitud y sus posibles situaciones de uso.

## **1.3 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Determinar la densidad aparente normal, densidad aparente anhidra y el contenido de humedad.
- Determinar los parámetros asociados a los cambios dimensionales.
- Determinar los parámetros de flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras y dureza de la especie.
- Determinar la durabilidad natural.



## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Material leñoso

Se trabajó con madera de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, “Ligustro” obtenida de 5 ejemplares con diámetros aserrables ubicados en la Reserva Pearson (partido de Magdalena, 34°04'00”S-57°31'60”O, provincia de Buenos Aires). De cada árbol, a partir de los 0,30 m de la base, se obtuvieron trozas (3 por ejemplar; 15 en total) de 1,20 m de longitud, las que luego fueron cortadas en aserradero portátil en tablonos de 55 mm de espesor, posteriormente estibados bajo condiciones de temperatura y humedad relativa ambiente hasta comprobar contenido de humedad en equilibrio (HEH).

El presente estudio comenzó a partir de dichos tablonos, de los que se obtuvieron probetas para la realización de los ensayos de cambios dimensionales, flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras, dureza y durabilidad natural. En cuanto a las probetas utilizadas en los ensayos de densidad normal (Dn)<sup>1</sup>, densidad anhidra (Do) y contenido de humedad (CH), éstas fueron obtenidas del material ensayado a flexión.

La totalidad del material cumplió con los requisitos especificados por las normas IRAM para la determinación de estas propiedades: material libre de defectos, superficie pulida y dimensiones acordes al tipo de ensayo (Tabla 1).

---

<sup>1</sup> La madera de una misma especie puede presentar diferencias de densidad según el sitio donde se desarrollo el árbol, por ejemplo Dn de *Pinus elliottii* (Englem.) en su lugar de origen en el sudeste de EE.UU. y la misma especie cultivada en Misiones, Argentina. Lo antedicho podría repercutir en las propiedades físico-mecánicas y durabilidad. En el presente trabajo, se discutieron estos atributos en relación a las densidades y contenido de humedad que presentó la madera en cuestión. Al mismo tiempo, se suman los resultados de este estudio a otros encontrados para la madera de Ligustro, con densidades y contenidos de humedad similares, como es el caso de Schauman en 2011.





**Tabla 1.** Ensayos, normas, dimensiones del material y repeticiones por tipo de ensayo.

Propiedades		Norma IRAM	Dimensiones	Número de probetas
<b>Físicas</b>	CH	9532 (1963)	20 x 20 x 20 mm	200
	Dn	9544 (1985)	20 x 20 x 20 mm	200
	Do	9544 (1985)	20 x 20 x 20 mm	200
	Cambios dimensionales	9543 (1985)	20 x 20 x 50 mm	100
<b>Mecánicas</b>	Dureza	9570 (1971)	50 x 50 x 150 mm	30
	Flexión estática	9542 (1977)	20 x 20 x 3000 mm	50
	Compresión paralela	9541 (1977)	50 x 50 x 200 mm	30
	Compresión perpendicular	9547 (1977)	50 x 50 x 150 mm	30
<b>Durabilidad</b>		9518 (1962)	20 x 20 x 20 mm	40

## **2.2 Procedimiento aplicado para la realización de los ensayos físico-mecánicos, de durabilidad y obtención de los resultados**

### **2.2.1 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas determinadas fueron las siguientes: contenido de humedad (CH%); densidad aparente normal (Dn), anhidra (Do) y cambios dimensionales: contracción normal máxima en sentido radial y tangencial (Cnmáxrd y Cnmáxtg), coeficiente de contracción en sentido radial y tangencial (vrd y vtg), punto de saturación de las fibras (PSF) y coeficiente de anisotropía (T/R).

#### **2.2.1.1 Contenido de humedad**

El contenido de humedad (CH) es definido como la cantidad de agua que tiene la madera con respecto a su masa anhidra. La importancia de su determinación radica en que influye en las propiedades debido a que modifica el volumen y la masa del material (Coronel, 1994). De acuerdo a lo indicado por IRAM, la fórmula utilizada para su obtención fue:



$$CH (\%) = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Ph: peso húmedo o inicial, en gramos (g).

Po: peso anhidro, en g.

### **2.2.1.2 Densidades aparentes**

La densidad aparente normal ( $D_n$ ) es definida como la relación entre el peso de la muestra seca al aire y el volumen de la misma en iguales condiciones de humedad. Dicha humedad (en %) debe corresponder a la humedad de equilibrio higroscópico (Coronel, 1994). La  $D_n$  fue determinada aplicando la fórmula:

$$D_n (\text{g/cm}^3) = \frac{Ph}{V_h} \quad (2)$$

Donde:

Ph: peso húmedo o inicial, en g.

$V_h$ : volumen húmedo o inicial, en centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ).

La densidad aparente anhidra ( $D_o$ ) se expresa como la relación entre el peso de la muestra anhidra y el volumen de dicha muestra en iguales condiciones de humedad (Coronel, 1994). Según lo indica la normativa de referencia, la fórmula aplicada para su determinación fue la siguiente:

$$D_o (\text{g/cm}^3) = \frac{P_o}{V_o} \quad (3)$$

Donde:

Po: peso anhidro, en g.

$V_o$ : volumen anhidro, en  $\text{cm}^3$ .

Los datos necesarios para la aplicación de las formulas enumeradas fueron obtenidos según se detalla a continuación:



1. Se determinó el peso húmedo ( $P_h$ ) de cada probeta en balanza analítica de 0,01 g de precisión.
2. Se determinó el volumen húmedo ( $V_h$ ) de cada probeta por el método de desplazamiento de agua según norma (IRAM 9544, 1985).
3. Se colocaron las probetas en horno a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , hasta peso constante.
4. Se extrajeron las probetas del horno y se colocaron en desecador hasta su enfriamiento.
5. Se determinó el peso anhidro ( $P_o$ ) de cada probeta en balanza analítica de 0,01 g de precisión.
6. Se determinó el volumen anhidro ( $V_o$ ) de cada probeta por el método de desplazamiento de agua.
7. Se realizaron los respectivos cálculos.

En esta etapa del trabajo se utilizó balanza analítica de 0,01 g de precisión para determinar peso, calibre digital para determinar longitud, desecador con cloruro de calcio (a fin de evitar la hidratación del material), bandejas plásticas y estufa de secado con termómetro y termostato. Estas determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Investigaciones en Maderas (LIMAD), área de Xilotecología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

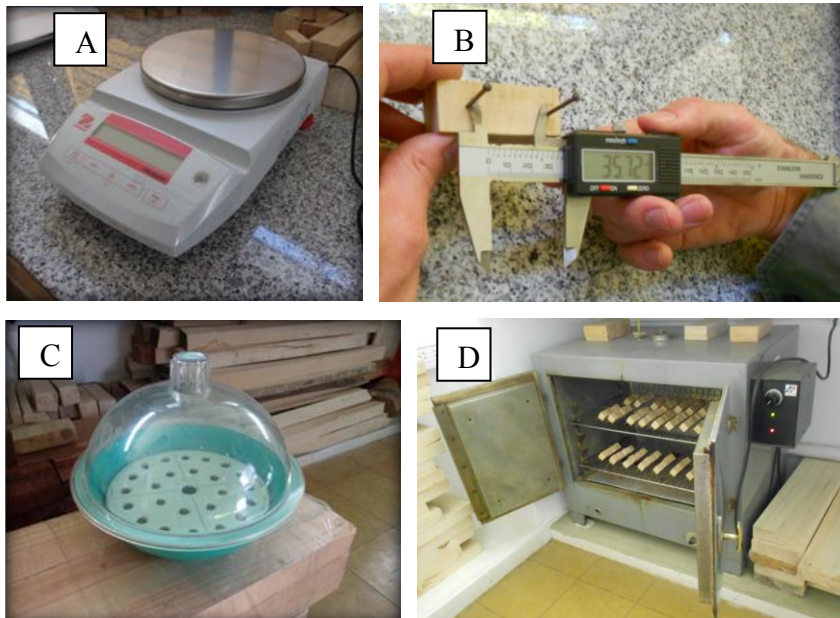


Foto A: Balanza analítica. Foto B: Calibre digital. Foto C: Desecador. Foto D: Estufa con termómetro y termostato.

Fotografías A, B, C, D, todas fuente propia.



Obtenidos los resultados del modo descripto, la madera fue clasificada según su densidad aparente normal, tomando los rangos propuestos por Coronel (1994), Tabla 2.

**Tabla 2.** Rangos y clasificación de las maderas en función de su densidad aparente normal.

Rangos de Dn (g/cm <sup>3</sup> )	Clasificación
< 0,350	Muy livianas
0,351 – 0,550	Livianas
0,551 – 0,750	Semipesadas
0,751 – 0,1000	Pesadas
> 0,1000	Muy pesadas

### 2.2.1.3 Cambios dimensionales

Los cambios dimensionales hacen referencia a las variaciones de las dimensiones de una pieza de madera cuando se manifiesta una variación en su contenido de humedad, resultante de procesos de adsorción y desorción de agua entre el estado anhidro y el punto de saturación de las fibras o PSF (Coronel, 1994).

El PSF es el estado de saturación de la madera en el cual no hay presencia de agua libre (aquella presente en los capilares gruesos y en los espacios celulares); el agua sólo se encuentra saturando las paredes celulares. El valor (en %) del PSF es variable: en latifoliadas de porosidad difusa, sin duramen definido, es de aproximadamente 32-35%; en coníferas y latifoliadas con porosidad circular es de 22-28% (Coronel, 1994), aunque en términos generales se toma 30% como valor teórico en ambos casos. La fórmula aplicada para su determinación fue la siguiente:

$$\text{PSF (\%)} = \frac{\text{Cnrdmáx o Cntgmáx (4)}}{v}$$

Donde:

Cn rdmáx: contracción normal máxima radial, en porcentaje.

Cn tgmáx: contracción normal máxima tangencial, en porcentaje.

v: coeficiente de contracción, adimensional.



La contracción normal ( $C_n$ ) se define como la reducción de las dimensiones de una pieza de madera causada por la disminución de su contenido de humedad a partir del PSF. La contracción normal máxima ( $C_{n\text{máx}}$ ) es la reducción de las dimensiones de una pieza producida entre el PSF y el 0% del contenido de humedad. Según norma la fórmula para su determinación, aplicada en este trabajo, fue:

$$C_{n\text{máx}} (\%) = \frac{L_v - L_o}{L_o} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

$L_v$ : longitud verde entre clavos, en milímetros (mm).

$L_o$ : longitud anhidra entre clavos, en mm.

El coeficiente de contracción ( $v$ ) expresa cuanto contrae una madera cuando pierde 1% en su contenido de humedad. De acuerdo con lo indicado por la norma IRAM 9543, el  $v$  se determinó en sentido radial y en tangencial mediante la siguiente fórmula:

$$v = \frac{\frac{L_h - L_o}{L_o} \times 100}{\frac{P_h - P_o}{P_o} \times 100} \quad (6)$$

Donde:

$L_h$ : longitud húmeda o inicial entre clavos, en mm.

$L_o$ : longitud anhidra entre clavos, en mm.

$P_h$ : peso húmedo o inicial, en g.

$P_o$ : peso anhidro, en g.

En cuanto al coeficiente de anisotropía (T/R), éste es un indicador de la estabilidad de la madera (Coronel, 1994). Su valor se determinó mediante el cociente de la contracción normal tangencial máxima y la contracción normal radial máxima, según se indica a continuación:

$$T/R = \frac{C_{ntgmáx}}{C_{nrđmáx}} \quad (7)$$



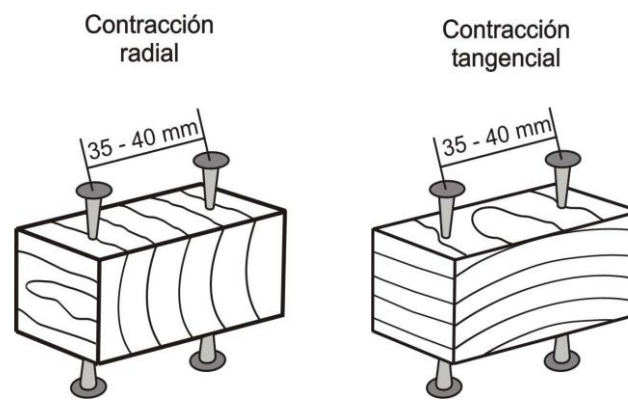
Donde:

Cnrdmáx: contracción normal máxima radial, expresada en porcentaje (%).

Cntgmáx: contracción normal máxima tangencial, en %.

Los datos necesarios para su determinación fueron recopilados según el procedimiento detallado a continuación:

1. Se obtuvo una media de pesos de 4 clavos.
2. Se colocaron los cuatro clavos en cada probeta según se indica en la Figura.



**Figura 1.** Ensayo de cambios dimensionales: esquemas de probetas, indicando los planos de medición.

Fuente: Spavento et al., 2008.

3. Se determinó la Lh en ambos lados de cada probeta.
4. Se determinó el Ph de cada probeta (restando el peso de los 4 clavos).
5. Se colocaron las probetas en horno a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , hasta peso constante.
6. Se extrajeron las probetas del horno y se colocaron en desecador hasta su enfriamiento.
7. Se determinó la Lo entre clavos en ambos lados de cada probeta.
8. Se determinó el Po de cada probeta (restando el peso de los 4 clavos).
9. Se sumergieron las probetas en agua durante 20 días.
10. Se determinó la Lv entre clavos en ambos lados de cada probeta.
11. Se realizaron los cálculos correspondientes.

Obtenidos los resultados, la madera fue clasificada según el valor medio de contracción radial máxima (Cnrdmax) y contracción tangencial máxima (Cntgmax) obtenido (Coronel 1994), del coeficiente de contracción (T/R, Tabla 3) y del punto de saturación de las fibras (PSF, Tabla 4) (Rivero Moreno, 2004).



Para contracciones radiales y tangenciales, la clasificación se basó en valores mínimos y máximos. El valor de contracción normal máxima radial suele encontrarse entre 1,5 y 7 %, y entre el 3,6 y el 15 % el de contracción normal máxima tangencial (Coronel 1994).

**Tabla 3.** Clasificación de las maderas según la relación de estabilidad T/R.

Rangos de T/R	Clasificación
<1,50	Muy baja o muy estable
1,50-2,00	Baja o estable
2,01-2,50	Mediana o moderadamente estable
2,51-3,00	Alta o inestable
>3,00	Muy alta o muy inestable

**Tabla 4.** Clasificación de las maderas según el contenido de humedad (%) en el punto de saturación de las fibras (PSF)

Rangos de PSF (%)	Clasificación
< 25%	Bajo
25-35%	Normal
>35	Elevado

### 2.2.2 Propiedades mecánicas

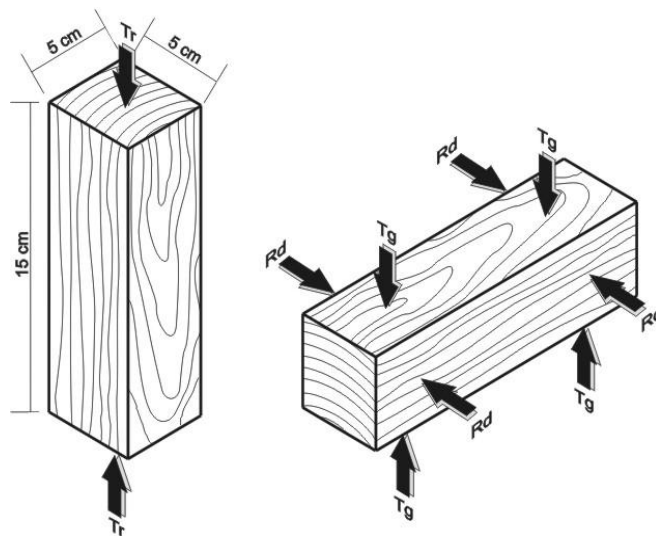
Las propiedades mecánicas determinadas fueron: dureza Janka, flexión estática, compresión perpendicular y paralela a las fibras.

Para la realización de estos ensayos se utilizó una Prensa Universal de 5000 Kg ALFRED J. AMSLER & Co, Schaffouse – Suisse 7928 (dureza Janka y flexión estática) y una máquina Universal de Ensayos de 25 toneladas ALFRED J. AMSLER & Co, Schaffhouse – Suisse 5380 (compresión perpendicular y paralela a las fibras), pertenecientes al Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería, UNLP.



### 2.2.2.1 Dureza Janka

La dureza Janka determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia (IRAM 9570, 1971). A la Prensa Universal se le conectó un dispositivo con una esfera de acero de 11,3 mm de diámetro. La esfera se hizo penetrar sobre la probeta hasta la mitad de su diámetro, momento en el que se obtuvo una impronta de 10 mm<sup>2</sup> y se registró la carga de penetración soportada. Lo descrito fue realizado en cada una de las caras de la probeta de ensayo (Figura 2).



**Figura 2.** Ensayo de dureza: esquema de probetas indicando los puntos de aplicación de las cargas. Izquierda, probeta mostrando la dirección transversal de los puntos de aplicación. Derecha, probeta mostrando las direcciones radial y tangencial de los puntos de aplicación. Fuente: Spavento et al., 2008.

Obtenidos los resultados, en función de su valor de dureza Janka, la madera fue clasificada según Coronel (1995), Tabla 5

**Tabla 5.** Clasificación de las maderas según valores de Dureza Janka.

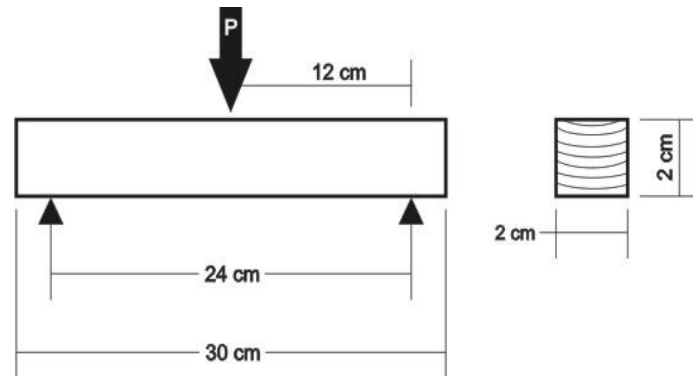
Rango de Dureza (Kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación
< 300	Maderas muy blandas
301 – 500	Maderas blandas
501 – 700	Maderas semiduras
701 – 1000	Maderas duras
> 1000	Maderas muy duras





### 2.2.2.2 Flexión estática

El ensayo de flexión estática mide la resistencia que ofrece una viga a una carga puntual aplicada en el centro de luz o distancia entre apoyos, en la cara tangencial más cercana a la médula de la probeta (IRAM 9542, 1977).



**Figura 3.** Ensayo de flexión estática: esquema de probeta, orientación y puntos de aplicación de cargas.

Fuente: Spavento et al., 2008.

Los parámetros determinados en flexión fueron:

*Módulo de Rotura (MOR)*: corresponde a la tensión unitaria máxima en flexión que soporta un material antes de que se produzca la falla. Cualquier incremento de carga sobre el mismo provocará su rotura.

$$\text{MOR (Kg/cm}^2\text{)} = 1,5 \times \frac{Q L}{b h^2} \quad (8)$$

Siendo:

Q = carga de rotura, en kilogramos (Kg).

L = distancia entre apoyos o luz de la probeta, en cm.

b = ancho de la probeta, en cm.

h = altura de la probeta, en cm.

*Módulo de Elasticidad (MOE)*: es la medida de rigidez del material. Su cálculo se basa en la razón entre el esfuerzo por unidad de superficie y la deformación por unidad de longitud experimentada por la probeta expuesta a flexión. Es aplicable solamente a condiciones de trabajo que se encuentren dentro de la zona elástica de la curva carga vs. deformación.



$$\text{MOE (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{L^3}{4 b h^3} \times \frac{P}{\Delta} \quad (9)$$

Siendo:

$P/\Delta$  = pendiente de la curva carga vs deformación, en el rango elástico, en  $\text{Kg/cm}^2$

$L$ ,  $b$  y  $h$  = fórmula 8.

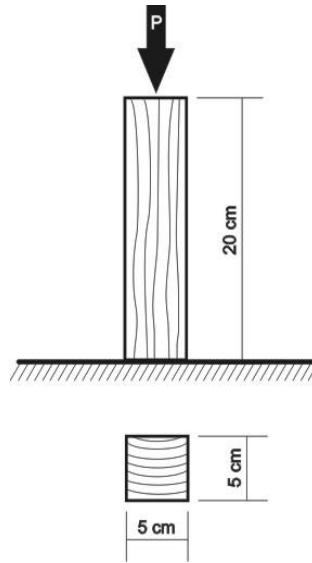
Obtenidos los resultados, la madera fue clasificada según su MOE y MOR utilizando los rangos propuestos por Rivero Moreno (2004), según es indicado en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Clasificación de las maderas en función de su MOR y MOE en flexión estática.

Rango de MOR ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Rango de MOE ( $\text{Kg/cm}^2$ )	Clasificación
< 500	< 100000	Muy bajo
500 – 950	101000 – 120000	Bajo
951 – 1220	121000 – 150000	Medio
1221 – 1750	151000 – 200000	Alto
> 1750	> 200000	Muy alto

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

A través de este ensayo se determina la resistencia que ofrece una columna a una carga aplicada en el sentido de la dirección de las fibras (IRAM 9551, 1985).



**Figura 4.** Ensayo de compresión paralela a las fibras: esquema de probeta, orientación y punto de aplicación de la carga.

Fuente: Spavento et al., 2008.

Los parámetros determinados fueron:

*Módulo de Rotura (MOR):*

$$\text{MOR (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{Q}{A} \quad (10)$$

Siendo:

Q = carga de rotura, en Kg.

A = sección transversal de la probeta, en cm<sup>2</sup>.

*Módulo de elasticidad (MOE):*

$$\text{MOE (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{L P}{A \Delta} \quad (11)$$

Siendo:

$\Delta$  = acortamiento total de la probeta, en mm.

L = longitud total de la probeta, en mm.

P = carga máxima aplicada en el límite elástico, en Kg.

A = definido en la fórmula (10).



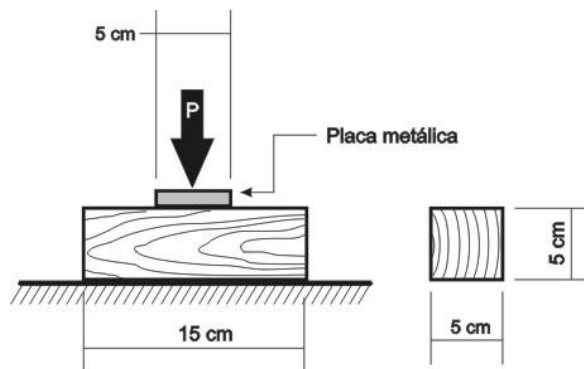
Obtenidos los resultados, la madera fue clasificada según su MOR utilizando los rangos propuestos por Rivero Moreno (2004), Tabla 7.

**Tabla 7.** Clasificación de las maderas en función de su MOR en compresión paralela a las fibras.

Rango del MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación
< 200	Muy bajo
201 – 300	Bajo
301 – 400	Medio
401 – 500	Alto
> 500	Muy Alto

#### 2.2.2.4 Compresión perpendicular a las fibras

Este ensayo permite determinar la resistencia que opone la madera a una carga repartida aplicada en sentido perpendicular a la dirección de las fibras en una de las caras radiales de la probeta (IRAM 9547, 1977).



**Figura 5.** Ensayo de compresión perpendicular a las fibras: esquema de probeta, orientación y plano de aplicación de la carga. Fuente: Spavento et al., 2008.

Se determinó el Módulo de rotura (MOR):

$$\text{MOR (Kg/cm}^2\text{)} = \frac{Q}{A_c} \quad (12)$$



Siendo:

Q = carga de rotura, en Kg.

$A_C$  = área de contacto placa metálica – probeta, en  $\text{cm}^2$ .

Obtenidos los resultados, la madera fue clasificada según su MOR utilizando los rangos propuestos por Rivero Moreno (2004), Tabla 8.

**Tabla 8.** Clasificación de las maderas en función de su MOR en compresión perpendicular a las fibras.

Rango del MOR ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	Clasificación
< 25	Muy bajo
26 – 50	Bajo
51 – 75	Medio
76 – 100	Alto
> 100	Muy alto

### 2.2.3 Durabilidad natural

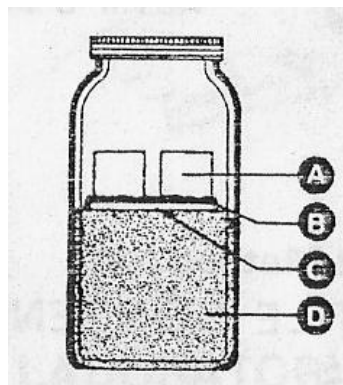
El ensayo de durabilidad fue realizado en laboratorio, empleando la técnica del “soil-block”, según Norma IRAM 9518 (Tabla 1). La madera fue expuesta a la acción de la cepa xilófaga de *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst. Cepa 735 (LPSC) – Cepario del Instituto Spegazzini, La Plata – causante de pudrición castaña. Este tipo de deterioro es considerado el más agresivo en la madera en uso; los hongos responsables de pudrición castaña atacan selectivamente los hidratos de carbono del leño comprometiendo significativamente sus propiedades de resistencia mecánica; la lignina sólo es parcialmente modificada por oxidación y responsable del color característico que adquiere la madera atacada (Zabel & Morrell, 1992)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Cabe mencionar que en el proyecto de trabajo final se había propuesto evaluar la durabilidad natural exponiendo la madera de ligustro a dos tipos de cepas xilófagas, *Pycnoporus sanguineus* (L. ex Fr.) Bull. Murr. Cepa 163 (LPSC) y *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.: Fr.) P. Karst. Cepa 735 (LPSC), causantes de pudrición blanca y castaña, respectivamente. Lo descripto no pudo ser realizado con la cepa responsable de la pudrición blanca por problemas de viabilidad. Tras un tiempo prudencial de espera del material necesario para inocular las probetas (cepa repicada en tubo de ensayo proveniente del Instituto Spegazzini), se optó por proseguir con la realización y análisis de los demás ensayos y la consiguiente elaboración del informe de trabajo final.



Obtenida la cepa, fue repicada a cajas de Petri con medio agar extracto de malta al 2% (AM 2%: 20 g de extracto de malta; 20 g de peptona de carne; 20 g de agar; 1000 cm<sup>3</sup> agua destilada) las que posteriormente fueron colocadas en estufa por 15 días a 25°C ± 2.

Para la instalación de los ensayos se emplearon frascos de vidrio de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad. En cada uno de ellos fueron colocados 43 cm<sup>3</sup> de agua destilada y 200 g de una mezcla de tierra (40 g) y arena (160 g) previamente secada en estufa a 103 °C ± 2 durante 72 h y tamizada. Llenados los frascos, sobre el sustrato fueron apoyadas dos tablillas (“feeder strips”) de madera blanda (*Salix* sp) de 20 mm de lado. Posteriormente, cada frasco fue cerrado con tapones de algodón y esterilizado en autoclave durante 30 minutos a 1,5 atm. Cumplida esta etapa, se procedió a la inoculación, la cual fue realizada mediante trozos de micelio fúngico de 10 mm de diámetro obtenidos con sacabocados, colocados próximos a cada “feeder strips”. Una vez que el micelio cubrió las tablillas (20 días aprox.) sobre cada una de ellas fue colocada una probeta de ensayo (dos por frasco) previa determinación de su peso inicial en equilibrio higroscópico (Pi) y esterilización en autoclave a 0,5 atm de presión durante 20 minutos.



**Figura 6.** Durabilidad natural en laboratorio: esquema de frasco de pudrición inoculado con la cepa xilófaga de ensayo. A: Probeta de Ligustro; B: inóculo fúngico; C: *feeder strips*; D: sustrato.

Fuente: Norma ASTM D-2017-81, 1986.

El material estuvo expuesto a degradación durante 90 días bajo condiciones controladas de laboratorio, a 27 ± 2 °C y 70 % de HR. Cumplido el tiempo de ensayo, las probetas fueron extraídas de los frascos y acondicionadas en laboratorio durante 30 días hasta comprobar peso en equilibrio higroscópico (Pf) constatado cuando la diferencia en gramos entre dos pesadas sucesivas no supero los 0,01 g. Con los Pi y Pf obtenidos fue calculada la media de pérdida de peso (Pp) de las probetas empleando la fórmula:



$$Pp (\%) = \frac{Pi (g) - Pf (g)}{Pi (g)} \times 100 \quad (13)$$

Siendo:

Pp (%): pérdida de peso, en %

Pi (g): peso de las probetas en equilibrio higroscópico antes de ser expuestas a degradación, en g.

Pf (g): peso en equilibrio higroscópico de las probetas luego de su exposición a la cepa xilófaga, en g.

Obtenida la media de Pp (%) de la totalidad del material, fue estimada la clase de resistencia a la degradación fúngica según la Norma ASTM D-2017-81 (1986), Tabla 9.

**Tabla 9.** Clasificación de las maderas en función de su porcentaje medio de pérdida de peso (Pp).

Rango de Pp (%)	Rango de Peso residual (%)	Clasificación
0 – 10	90 – 100	Altamente resistente
11 – 24	76 – 89	Resistente
25 – 44	56 – 75	Moderadamente resistente
> 45	< 55	No resistente

El ensayo de degradación fue realizado en el laboratorio de investigaciones en madera, área de Protección Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.

### 2.3. Análisis estadístico

Al conjunto de datos se los proceso mediante planillas de cálculo de Excel, de las cuales se obtuvo para cada variable la media, desvío estándar y el coeficiente de variabilidad. Los diagramas que ilustran el trabajo se realizaron con este programa y también mediante el programa estadístico STATGRAPHICS Plus.



## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 Propiedades Físicas

##### 3.1.1 Contenido de humedad y densidades aparentes

En la Tabla 10 se muestra el valor del contenido de humedad (CH) y el de las densidades aparentes anhidra ( $D_o$ ) y normal ( $D_n$ ) al 12 % y al 15 % del CH, obtenidos para la madera de Ligustro. Los valores de densidad normal fueron corregidos por fórmula tomando la densidad anhidra y los contenidos de humedad antes mencionados.

**Tabla 10.** Valor medio y coeficiente de variación (CV) del contenido de humedad (CH) y densidades aparentes ( $D_a$ ) y normales ( $D_n$ ) de la madera de Ligustro.

Ensayo	CH (%)	$D_o$ (g/cm <sup>3</sup> )	$D_n$ , 12% CH (g/cm <sup>3</sup> )	$D_n$ , 15% CH (g/cm <sup>3</sup> )
Media	11,47	0,72	0,75	0,76
CV (%)	4	6,20	5,98	5,98

En cuanto a las densidades aparentes, los resultados obtenidos clasifican a la madera como semi-pesada (rango: 0,551-0,750 g/cm<sup>3</sup>; Coronel, 1994).

Al comparar el valor de  $D_n$  obtenido para Ligustro con los correspondientes al de algunas maderas presentes en el mercado de nuestro país (Tabla 11) se observa que si bien el mismo se haya por debajo de el de ciertas especies nativas, es muy superior al de las especies exóticas que se utilizan en la actualidad (INTI, 2015).

En las sucesivas tablas comparativas se mantiene el orden de las especies en función de la densidad decreciente.





**Tabla 11.** Densidad normal (Dn), 15 % CH, de la madera de Ligustro y de algunas especies nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.

<b>Especie</b> <b>(nombre vulgar)</b>	<b>Especie</b> <b>(nombre científico)</b>	<b>Densidad g/cm<sup>3</sup></b> <b>(INTI 2015)</b>
Guayacán	<i>Caesalpinia paraguariensis</i>	1,180
Lapacho negro	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	1,050
Anchico colorado	<i>Parapiptadenia rigida</i>	0,950
Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	0,880
Guatambú	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0,840
Algarrobo negro	<i>Prosopis nigra</i>	0,830
<b>Ligustro</b>	<b><i>Ligustrum lucidum</i></b>	<b>0,759</b>
Eucalipto saligna	<i>Eucalyptus saligna</i>	0,710
Fresno americano	<i>Fraxinus americana</i>	0,660
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>	0,550
Pino paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	0,520
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	0,510
Paraíso	<i>Melia azedarach</i>	0,480
Álamo I-214	<i>Populus x euroamericana</i>	0,470
Álamo criollo	<i>Populus nigra</i>	0,460
Pino taeda	<i>Pinus taeda</i>	0,450
Pino ponderosa	<i>Pinus ponderosa</i>	0,440

En esta instancia de análisis y discusión de los resultados obtenidos, también fue contemplada la clasificación de maderas presente en el “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino” (1984) debido a que es habitualmente consultada por arquitectos e ingenieros civiles, entre otros, ante la necesidad de seleccionar maderas para la construcción. Dicha clasificación propone tres grupos de maderas en función de sus densidades básicas (o relación entre el peso seco al horno y el volumen en verde) como también en función de los datos resultantes de la correlación de dicha propiedad con parámetros asociados a los ensayos mecánicos. De acuerdo con esto, los grupos son: grupo A, es el de maderas con mayor resistencia y cuyas densidades rondan entre 0,71 - 0,90 g/cm<sup>3</sup>; grupo B, de resistencia intermedia, entre 0,56 y 0,70 g/cm<sup>3</sup> y grupo C o de menor resistencia, con densidades básicas entre 0,40 y 0,55 g/cm<sup>3</sup>.

La densidad básica es en todos los casos menor a las densidades normal y anhidra, por lo cual podríamos suponer que si bien para el Ligustro la densidad básica



tendría un valor menor a  $0,70 \text{ g/cm}^3$ , éste no sería inferior a  $0,56 \text{ g/cm}^3$ , por lo cual, quedaría situada en el grupo B.

### 3.1.2 Cambios dimensionales

En la Tabla 12 son presentados el valor medio y coeficientes de variación de cada uno de los parámetros determinados: contracción normal máxima radial (Cnrdmáx) y tangencial (Cntgmáx), coeficiente de contracción radial (vRd) y tangencial (vTg), punto de saturación de las fibras (PSF) y valor de anisotropía (T/R).

**Tabla 12.** Valor medio y coeficiente de variación para los parámetros de cambios dimensionales determinados

Ensayo	Cnrdmáx (%)	Cntgmáx (%)	vRd	vTg	T/R	PSF
Media	4,61	9,77	0,18	0,30	2,16	29,31
CV (%)	12,13	7,51	10,78	14,19	13,81	14,30

Según lo detallado, el valor medio de Cnrdmax y el de Cntgmax se encuentran dentro de los rangos normales aceptables: 1,5 a 7,00% y 3,60 a 15,00%, respectivamente (Coronel, 1994). En cuanto al T/R obtenido, determina que la madera de esta especie sea clasificada como mediana o moderadamente estable\* (rango: 2,01-2,50). En referencia al valor de PSF, este se considera normal (rango: 25-35%; Rivero Moreno, 2004).

En la Tabla 13 se detallan valores de contracción radial, tangencial, coeficientes de anisotropía y, en función de ellos, la estabilidad de diferentes maderas presentes en el mercado argentino (INTI, 2015).



**Tabla 13.** Valores de contracción radial, tangencial y relación T/R de la madera de Ligustro y de algunas especies nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.

<b>Especie</b> <b>(nombre vulgar)</b>	<b>Cnrdmáx</b> <b>(%)</b>	<b>Cntgmáx</b> <b>(%)</b>	<b>T/R</b>	<b>Clasificación</b>
Guayacán	5,5	6,4	1,16	Muy estable
Lapacho negro	4,0	5,9	1,47	Muy estable
Anchico colorado	5,6	10,4	1,85	Estable
Quebracho blanco	5,3	10,9	2,05	Moderadamente estable
Guatambú	4,9	9,6	1,95	Estable
Algarrobo negro	2,1	3,0	1,43	Muy estable
<b>Ligustro</b>	<b>4,6</b>	<b>9,8</b>	<b>2,2</b>	<b>Moderadamente estable*<sup>1</sup></b>
Eucalipto saligna	6,3	12,4	1,96	Estable
Fresno americano	4,9	7,9	1,59	Estable
Cedro	4,0	6,2	1,55	Estable
Pino paraná	3,9	7,2	1,84	Estable
Eucalipto grandis	5,5	10,5	1,82	Estable
Paraíso	5,5	6,8	1,25	Muy estable
Álamo I-214	4,0	8,7	2,17	Moderadamente estable
Álamo criollo	3,1	6,9	2,27	Moderadamente estable
Pino taeda	5,2	7,7	1,83	Estable
Pino ponderosa	3,9	6,3	1,58	Estable

Según se observa en la Tabla 13, la madera de Ligustro, al igual que otras nativas y exóticas, poseen valor de T/R que si bien restringe algunas aplicaciones, no impediría su posible utilización. En este sentido, en términos generales, se considera que las maderas que no superan ampliamente valores de 2 son utilizadas en carrocerías, durmientes, construcciones rurales, viviendas (Quebracho blanco), paralelas (Guatambú), postes, puntales (Eucalipto saligna); tirantería (Álamo I-214), entre otros. Por su parte, bajo diferentes procesos industriales, dichas maderas con valores  $T/R \geq 2$ , son utilizadas como materia prima para la elaboración de tableros compensados o tableros de alistonados (Ej.: E. saligna; A. criollo). Asimismo, existen antecedentes en torno a la utilización estructural de maderas con valores T/R similares a los indicados, usos condicionados por la densidad, dureza y escuadrías de cada una de ellas. Sabiendo que se cuenta con una madera semi-pesada y un T/R cercano a 2, estos tipos de relaciones (entre las diferentes propiedades) serán retomadas luego de ser abordadas en su totalidad.



\*<sup>1</sup>Es necesario aquí aclarar que para otros autores, el valor ideal del Coeficiente de Anisotropía sería 1, maderas con valores entre 1,2 y hasta 1,5 son consideradas excelentes, entre 1,6 y 1,9 normales, y un valor de T/R mayor a 2,0 en adelante ya eliminaría la madera para varias utilidades (Coronel, 1994). En este sentido para la madera de ligustro sería recomendable otorgarle una clasificación que unifique ambos criterios como ser “moderadamente inestable”.

## 3.2 Propiedades Mecánicas

### 3.2.1 Dureza Janka

En la Tabla 14 se detalla el valor medio de dureza Janka obtenido para cada una de las secciones de ensayo de la madera: radial, tangencial y transversal.

**Tabla 14.** Valor medio y coeficiente de variación de la dureza de la madera de Ligustro en los 3 planos de ensayo.

Ensayo	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tg(Kg/cm <sup>2</sup> )	Tr (Kg/cm <sup>2</sup> )
Media	742	746	957
CV (%)	16,45	14,31	8,30

Tomando en cuenta la clasificación propuesta por Coronel (1995), la madera de Ligustro es considerada dura en los tres planos de estudio.

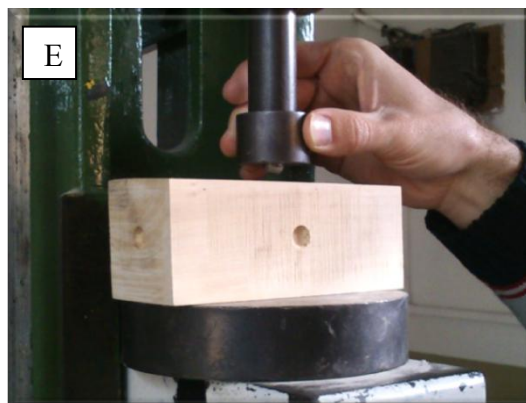


Foto E: Probeta de Ligustro mostrando las tres secciones de estudio luego de realizado el ensayo de dureza Janka. Fuente: propia.



En la Tabla 15 se muestran los valores dureza Janka perpendicular a las fibras, pudiendo comparar el promedio entre la dureza radial y tangencial de la madera de Ligustro con algunas maderas comerciales del mercado argentino (INTI, 2015).

**Tabla 15.** Valor medio de dureza Janka perpendicular de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.

<b>Especie (nombre vulgar)</b>	<b>Dureza Janka perpendicular a las fibras (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
Guayacán	1751	Muy dura
Lapacho negro	1102	Muy dura
Anchico colorado	1098	Muy dura
Quebracho blanco	963	Dura
Guatambú	841	Dura
Algarrobo negro	881	Dura
<b>Ligustro</b>	<b>744</b>	<b>Dura</b>
Eucalipto saligna	462	Blanda
Fresno americano	602	Semidura
Cedro	360	Blanda
Pino paraná	294	Muy blanda
Eucalipto grandis	292	Muy blanda
Paraíso	406	Blanda
Álamo I-214	180	Muy blanda
Álamo criollo	219	Muy blanda
Pino taeda	310	Blanda
Pino ponderosa	245	Muy blanda

Como se puede observar en la Tabla 15, si bien la madera del Ligustro no presenta el valor más alto, se encuentra entre las de mayor dureza, representadas principalmente por especies nativas.

La dureza es una característica a considerar ante la necesidad de utilizar una madera para la elaboración de pisos, mueblería, ventanas, puertas, escalones y en general en sitios de la vivienda en que este material esté sujeto a un desgaste pronunciado (Tinto, 1997). A causa de ello, por su condición de material duro, la madera del Ligustro puede resultar apta para pisos de alto tránsito. En consonancia con esto, esta madera sería una buena alternativa para reemplazar el uso de las



nativas duras en la fabricación de parquets, aplicaciones en construcciones navales, civiles y tirantería (Tortorelli, 2009).

### 3.2.2 Flexión

En la Tabla 16 se presenta el valor medio y coeficiente de variación obtenidos para cada uno de los parámetros ensayados en flexión.

**Tabla 16.** Valor medio y coeficiente variación del MOR y MOE en flexión.

Ensayo	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE(Kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión	1251	99793
CV (%)	14,05	10,60

En función de las clasificaciones citadas (Rivero Moreno, 2004), la madera de Ligustro contaría con un módulo de rotura (MOR) en flexión alto (1221 a 1750 Kg/m<sup>2</sup>) y un módulo de elasticidad (MOE) muy bajo (<100000 Kg/cm<sup>2</sup>).

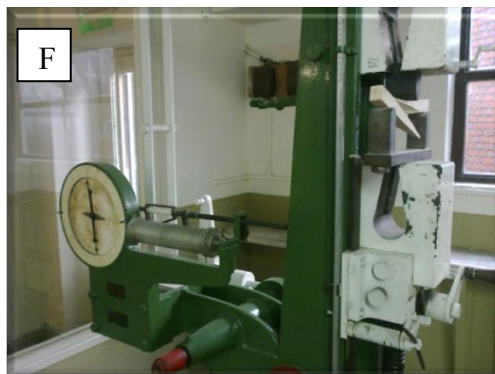


Foto F: Maquina general de ensayos vista de perfil, conteniendo a su vez una probeta de ligustro ensayada en flexión.

Fuente: propia.

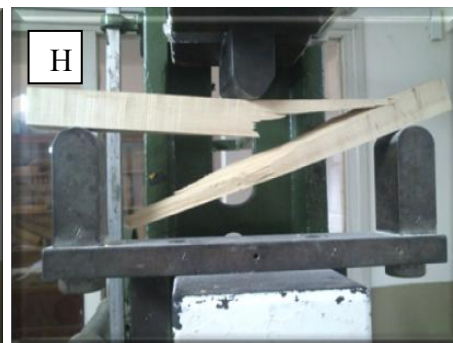
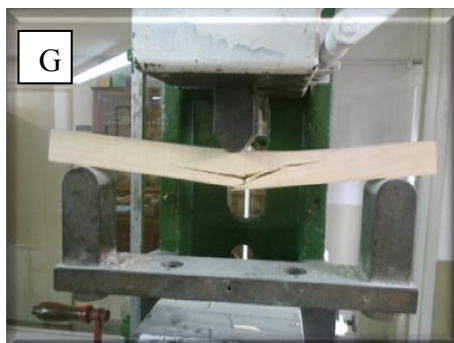
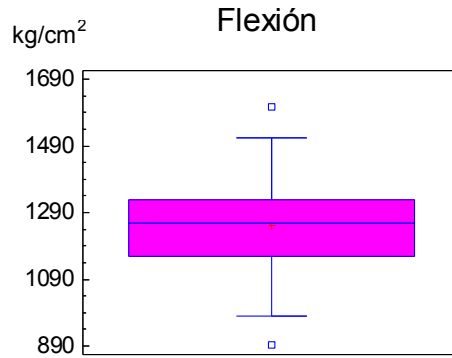


Foto G y H: probetas de Ligustro mostrando diferentes grados de reacción una vez superado el módulo de rotura.

Fuente: propia.

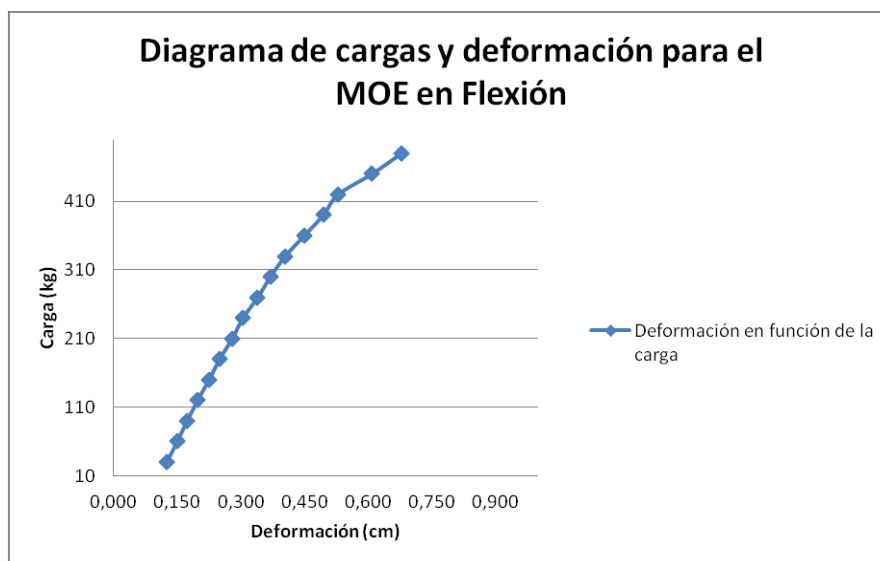


A continuación, en la Figura 7, se puede apreciar la distribución de los valores del MOR en flexión en torno a la media. Según se observa, la carga máxima aplicable tiene un mínimo de 893 kg/cm<sup>2</sup> y un máximo de 1608 kg/cm<sup>2</sup>, alejándose bastante ambos valores de la media, que corresponde a 1251 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 7:** Diagrama de caja y bigotes para valores de MOR en Flexión.

A modo ilustrativo se muestra en la Figura 8 la deformación en centímetros que va sufriendo una de las 60 probetas ensayadas en flexión estática. Se eligió la misma puesto que para dicha probeta el módulo de elasticidad fue de 100070 kg/cm<sup>2</sup>, es decir muy cercano a la media (99793 kg/cm<sup>2</sup>). Al comienzo del ensayo la relación entre el esfuerzo y la deformación es prácticamente lineal, la madera se encuentra en su zona elástica, cumpliéndose así la ley de Hooke (Coronel, 1996), seguido de esto se producen deformaciones que no guardan relación lineal con los valores de los esfuerzos y la madera de Ligustro se encontraría aquí en su zona plástica.



**Figura 8:** Diagrama de Flexión: deformación de una probeta de Ligustro expuesta a diferentes cargas.



En la Tabla 17 se muestran los valores del MOR y MOE en flexión obtenidos para la madera de Ligustro y los de algunas de las maderas comercializadas en nuestro país a los efectos de su comparación (INTI, 2015).

**Tabla 17.** Valor medio de los parámetros de flexión de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.

<b>Especie (nombre vulgar)</b>	<b>MOR (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>MOE (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
Guayacán	1515	Alto	160116	Alto
Lapacho negro	1636	Alto	156108	Alto
Anchico colorado	1198	Medio	157903	Alto
Quebracho blanco	1038	Medio	92040	Muy bajo
Guatambú	1251	Alto	155381	Alto
Algarrobo negro	1091	Medio	85850	Muy bajo
<b>Ligustro</b>	1264	<b>Alto</b>	<b>99793</b>	<b>Muy bajo</b>
Eucalipto saligna	1048	Medio	121183	Medio
Fresno americano	964	Medio	120836	Bajo
Cedro	720	Bajo	91061	Muy bajo
Pino paraná	724	Bajo	106050	Bajo
Eucalipto grandis	731	Bajo	98413	Muy bajo
Paraíso	853	Bajo	72553	Muy bajo
Álamo I-214	627	Bajo	66791	Muy bajo
Álamo criollo	591	Bajo	71788	Muy bajo
Pino taeda	704	Bajo	82983	Muy bajo
Pino ponderosa	663	Bajo	90755	Muy bajo

En la Tabla se puede observar la tendencia decreciente de los valores del MOR con la correspondiente disminución de la densidad (como fueron presentadas en Tabla 11), situándose la madera de Ligustro entre aquellas con un módulo de rotura más alto. En oposición, para el MOE la relación no es tan directa, a la vez que el Ligustro se sitúa entre las especies de modulo de elasticidad muy bajo en flexión.

En este sentido, es necesario destacar que cuanto más alto es el valor del MOR y MOE, más alta es la resistencia (bueno para construcciones) y más baja es la deformabilidad del material, respectivamente (Coronel, 1995). Sin embargo, en la práctica es frecuente encontrar en el mercado para este uso maderas de pinoteas (*Pinus taeda*, *Pinus ponderosa*, etc.) que, como se puede observar, tienen MOE en flexión muy bajos y que maderas como el quebracho o guayacán se utilicen para los fines constructivos de manera local. En otras palabras, nuevamente teniendo en





cuenta la escuadría de las piezas a utilizar, no sería esto una limitante para la utilización con fines estructurales.

### 3.2.3 Compresión paralela

En la Tabla 18 son presentados el valor medio y el coeficiente de variación de cada uno de los parámetros (MOR y MOE) determinados en compresión paralela.

**Tabla 18.** Valor medio y coeficiente variación del MOR y MOE en compresión paralela.

Ensayo	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE(Kg/cm <sup>2</sup> )
Compresión paralela	602	105704
CV (%)	7,92	18,79

Según se indica en la Tabla, el valor del MOR hallado en compresión paralela determina que sea considerado como muy alto (>500 Kg/m<sup>2</sup>) (Rivero Moreno, 2004).

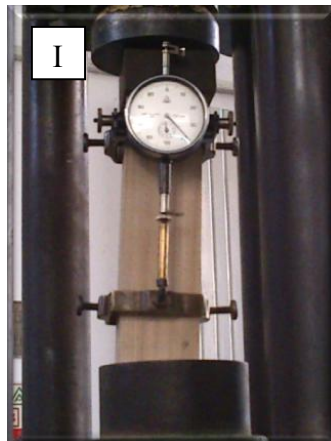
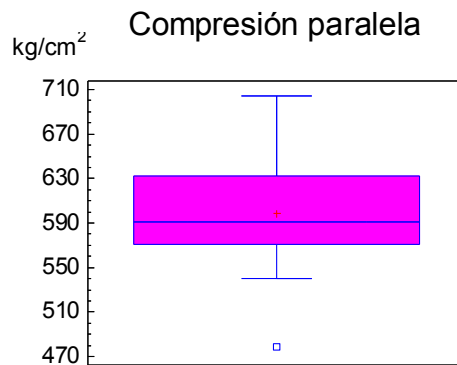


Foto I: Probeta de Ligustro durante la realización del ensayo de compresión paralela a las fibras.

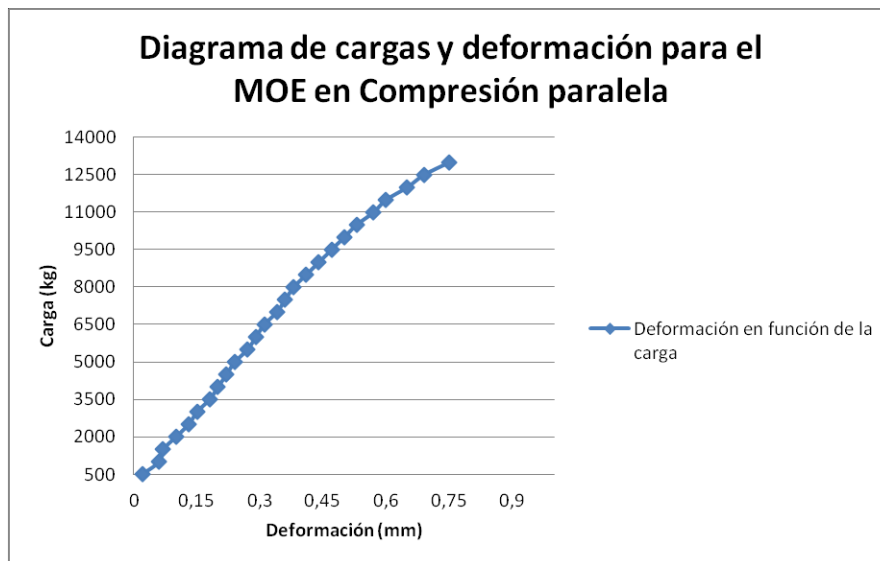
Fuente: propia.

En el Figura 9, se puede apreciar la distribución de los valores del MOR en compresión paralela para las distintas cargas máximas de rotura como también su relación en torno a la media. En términos generales, los valores del MOR tienden a agruparse alrededor de la media de 599 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el MOR mínimo se encuentra en los 479 kg/cm<sup>2</sup> y el máximo en 704 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 9:** Diagrama de caja y bigotes para los valores del MOR en Compresión paralela.

Al igual que en flexión, la Figura 10 representa la deformación en centímetros que experimenta una probeta ensayada en compresión paralela con un módulo de elasticidad a flexión de  $104032 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que la media para este ensayo fue de  $105704 \text{ kg/cm}^2$ . Aquí también vemos las consideraciones en cuanto a lo que corresponde a la zona elástica y plástica de la madera de Ligustro.



**Figura 10:** Diagrama de compresión paralela: deformación de una probeta de Ligustro expuesta a diferentes cargas.

En la Tabla 19 se detalla el valor medio de compresión paralela a las fibras de Ligustro y de algunas de las maderas comercializadas en nuestro país (INTI, 2015).



**Tabla 19.** Valor medio de compresión paralela de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas del mercado argentino.

<b>Especie</b> <b>(nombre vulgar)</b>	<b>Compresión paralela</b> <b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
Guayacán	861	Muy alto
Lapacho negro	846	Muy alto
Anchico colorado	504	Muy alto
Quebracho blanco	507	Muy alto
Guatambú	391	Medio
Algarrobo negro	611	Muy alto
<b>Ligustro</b>	<b>602</b>	<b>Muy alto</b>
Eucalipto saligna	589	Muy alto
Fresno americano	460	Alto
Cedro	440	Alto
Pino paraná	520	Muy alto
Eucalipto grandis	343	Medio
Paraíso	361	Medio
Álamo I-214	290	Bajo
Álamo criollo	300	Bajo
Pino taeda	361	Medio
Pino ponderosa	303	Medio

Como se puede observar, la madera del Ligustro posee valores muy altos en compresión al igual que el lapacho, anchico colorado o quebracho (blanco y colorado), maderas que, dependiendo de la abundancia relativa en la zona, son empleadas en columnas, parantes y vigas, todo lo cual determina la posibilidad de que la madera bajo estudio sea utilizada para las mismas aplicaciones. A su vez, maderas de varias especies de pino, las cuales entrarían dentro de la clasificación con un valor “medio” para compresión paralela, como ser el pino ponderosa, son muy utilizadas con los fines estructurales anteriormente citados, así como en otras formas simples (correas, cabios, listones, cumbreras) o bien combinadas (mediante diagonales y montantes formando por ejemplo cerchas).

La resistencia a la compresión paralela a las fibras (o longitudinal), permite estimar la utilización de la madera como material en la elaboración de parantes o columnas. En este sentido, no solo es necesario saber cuanto es lo que resiste antes de romperse, sino también tener datos acerca de la curvatura o pandeo que se produce en piezas con mayores largos; de aquí la importancia de la realización de



ensayos con piezas de longitudes representativas, a fin de obtener datos más precisos en torno al comportamiento del material.

### 3.2.4 Compresión perpendicular

En la Tabla 20 se presenta el valor medio y el coeficiente de variación para el MOR en compresión paralela.

**Tabla 20.** Valor medio y coeficiente variación (indicado entre paréntesis) del MOR en compresión perpendicular.

Ensayo	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )
Compresión perpendicular	266
CV (%)	12,67

En este caso, siguiendo los rangos anteriormente citados, el MOR de la madera de Ligustro es muy alto (>100 Kg/cm<sup>2</sup>).

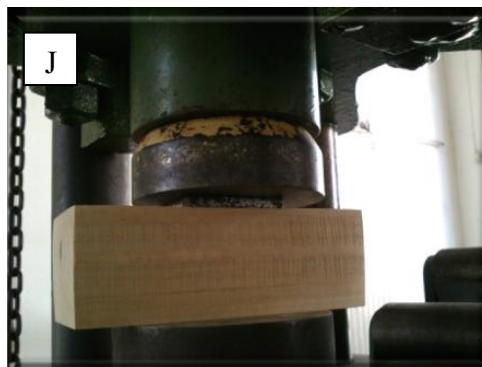
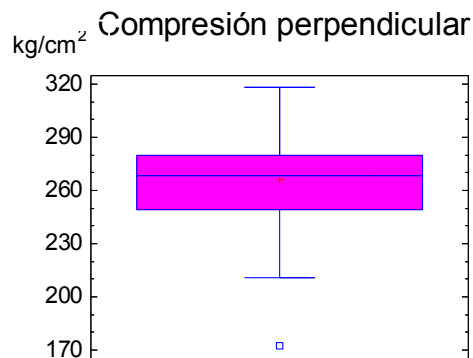


Foto J: Probeta de Ligustro durante la realización del ensayo de compresión perpendicular a las fibras.

Fuente: propia.

A continuación se puede apreciar la distribución de los valores del MOR en compresión perpendicular y su relación en torno a la media (Figura 10).



**Figura 11:** Diagrama de caja y bigotes para los valores del MOR en compresión perpendicular.

Para este caso, los MOR en compresión perpendicular tienen una media de 266 kg/cm<sup>2</sup>, se observa un mínimo de 173 kg/cm<sup>2</sup> y un máximo de 318 kg/cm<sup>2</sup>. A pesar de esto, la variabilidad se encuentra en rangos aceptables. Observando la relación entre la carga aplicada y el módulo correspondiente, podría decirse que se comportan de una manera prácticamente lineal.

En la Tabla 21 se muestran distintos valores medios de compresión perpendicular a las fibras a fin de comparar el obtenido para la madera de Ligustro con el de algunas maderas presentes en el mercado argentino. En esta instancia se recurrió a los valores encontrados por Coronel (1995) para especies comerciales de la Región del Parque Chaqueño; INTI (2015) no reporta dichos datos.

**Tabla 21.** Valor medio de compresión perpendicular de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.

Especie (nombre vulgar)	Compresión perpendicular (Kg/cm <sup>2</sup> )	Clasificación
Lapacho negro	412	Muy alto
Quebracho blanco	287	Muy alto
Algarrobo negro	311	Muy alto
<b>Ligustro</b>	<b>266</b>	<b>Muy alto</b>
Araucaria	186	Muy alto
Álamo	122	Muy alto
Kiri ( <i>Pawlonia fortunei</i> )	96	Alto

Según se observa, entre las especies no existen diferencias en torno a la clasificación. En términos generales la mayoría de las maderas poseen un MOR muy alto.



El comportamiento de la madera bajo la aplicación de fuerzas se modifica, entre otras razones, según la anatomía de la misma. La pared de las fibras (fundamentalmente la pared secundaria, y en ella la capa S2), es de gran interés en la determinación de la resistencia de la madera. La capa S2 es la más gruesa, y las microfibrillas de celulosa se orientan en forma paralela al eje longitudinal, ofreciendo la máxima resistencia para ciertos tipos de esfuerzos. Altos valores en ensayos en compresión paralela están relacionados directamente con el espesor de la pared, el diámetro de las fibras y el tamaño de los poros. En compresión perpendicular, conviene relacionar la respuesta de la madera, en función del espesor de la pared, la presencia de parénquima y contenidos. Aquí la pared secundaria es la de mayor importancia ya que ocupa una mayor área de sección. En este tipo de esfuerzos, las zonas por donde se puede producir la rotura son las más frágiles, dadas por el tejido parenquimático y los campos de cruzamiento, mientras que la presencia de contenidos (tíldes y cristales) dificulta la deformación celular. La dureza depende tanto del espesor de la pared como de su contenido de lignina. También influyen en ésta la homogeneidad del tejido (ya que una mayor proporción de tejido parenquimático afectaría negativamente), y la presencia de contenidos celulares. (Rivera & Lenton, 1999)

En este sentido, estudios microscópicos de la anatomía de la madera de Ligustro, muestran que esta especie presenta una porosidad difusa, con poros solitarios muy pequeños y con espesamientos espiralados, parénquima axial escaso y radios parenquimáticos con cristales y fibras de paredes muy gruesas (Schauman, 2011). A la vez, se observan macroscópicamente bandas de fibras visibles a simple vista (Rivera S, M. & E. Galiussi. 2015). El elevado espesor de las paredes de las fibras, el hecho de que estas se encuentren agrupadas y que los poros, si bien numerosos, sean muy pequeños, estarían en parte explicando los muy buenos resultados obtenidos en dureza y en los módulos de elasticidad y rotura para las diferentes compresiones.

Es necesario rescatar que en estos ensayos se trabajó con material de pequeñas dimensiones y libre de defectos. En este sentido, si bien la anatomía justifica en gran parte cuestiones relacionadas a la resistencia, el comportamiento de piezas grandes y con defectos puede diferir significativamente en el comportamiento estructural.



### 3.3 Durabilidad

En la Tabla 22 se presenta el valor medio de pérdida de peso (Pp) obtenido para la madera del Ligustro expuesta a degradación por la cepa responsable de pudrición castaña, *Gloeophyllum sepiarium*. En cuanto al CV, su elevado valor se corresponde con el tipo de ensayo biológico.

**Tabla 22.** Valor medio de Pp (%) obtenido para la madera de Ligustro.

Ensayo	Pp (%)
Media	16
CV (%)	36

De acuerdo con los resultados obtenidos, la madera se comportaría como resistente a la acción de los hongos xilófagos (ASTM D- 2017, 81/86) en una situación de uso que favorezca este tipo de deterioro (particularmente madera de uso exterior, en contacto con el suelo).

La durabilidad de las maderas, considerada como resistencia a la degradación fúngica, también está condicionada por las características anatómicas del leño y fundamentalmente por la presencia de extractivos con acción funguicida. En este sentido, a los caracteres citados con anterioridad como la porosidad difusa, presencia de poros solitarios muy pequeños, numerosos y vacíos; su parénquima axial escaso; fibras con paredes muy gruesas; espesor de pared de fibras de magnitud elevada (con un promedio superior al de otras especies de latifoliadas comerciales de densidad media a alta), podemos agregar además la presencia de cristales en los radios (Schauman 2011). Algunas de estas características nos podría estar indicando el porque la madera de Ligustro se encuentra dentro del grupo de las durables.

En términos generales, el pequeño tamaño de los vasos limitan la disponibilidad de oxígeno y humedad indispensables para los procesos de degradación como así también la colonización fúngica (los elementos de vaso constituyen las principales vías de colonización longitudinal de la madera); la abundancia y el elevado espesor de la pared de las fibras retardan los procesos de degradación: paredes espesas y altamente lignificadas limitan su descomposición en particular por los hongos de pudrición castaña como así también condicionan la humectación y tenores de oxígeno (a mayor espesor, menor lumen celular), esto último limitado por la presencia de cristales; las células parenquimáticas constituyen la



fuente primaria de hidratos de carbono; el poco espesor de sus paredes facilitan la descomposición; el escaso parénquima axial en la madera de estudio condicionaría su resistencia al deterioro.

En la Tabla 23 se cita la durabilidad del Ligustro como así también la de algunas maderas comercializadas en nuestro país. Se respeta allí la nomenclatura presentada por INTI, que se correspondería con la previamente indicada y utilizada en este estudio de la siguiente manera: Altamente resistente/muy durable; Resistente/durable; Moderadamente resistente/poco durable; No resistente/muy poco durable.

**Tabla 23.** Valores de durabilidad natural para la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas del mercado argentino.

<b>Especie (nombre vulgar)</b>	<b>Durabilidad natural (INTI 2015)</b>
Guayacán	Muy durable
Lapacho negro	Muy durable
Anchico colorado	Durable
Quebracho blanco	Poco durable
Guatambú	Poco durable
Algarrobo negro	Durable
<b>Ligustro</b>	<b>Durable</b>
Eucalipto saligna	Muy poco durable
Fresno americano	Poco durable
Cedro	Poco durable
Pino paraná	Poco durable
Eucalipto grandis	Poco durable
Paraíso	Poco durable.
Álamo I-214	Muy poco durable.
Álamo criollo	Muy poco durable.
Pino taeda	Muy poco durable.
Pino ponderosa	Muy poco durable.

Teniendo también en cuenta las categorías y recomendaciones que aparecen en la Norma Española se podría decir que las cinco clases de durabilidad que allí se citan (Tabla 24) son similares a los que se utilizaron en el presente estudio y esto permite que puedan prestarse a comparación, sin olvidar que dichas clases de durabilidad resultan del valor o rango de valores para x, definidos mediante la relación





media de pérdida de masa de las probetas de ensayo vs media pérdida de masa probetas de referencia.

**Tabla 24.** Clases de durabilidad natural de la madera frente a los hongos xilófagos (Norma UNE-EN 350-1, 1995).

Clases de durabilidad	Clasificación	Resultados expresados en función de $x^{*2}$
1	Muy durable	$x \leq 0,15$
2	Durable	$x > 0,15$ y $\leq 0,30$
3	Medianamente durable	$x > 0,30$ y $\leq 0,60$
4	Poco durable	$x > 0,60$ y $\leq 0,90$
5	No durable	$x > 0,90$

\*<sup>2</sup> La "x" resulta de la razón entre la pérdida media de masa corregida de las probetas de ensayo y la pérdida de masa de las probetas de referencia. La pérdida de masa corregida es la diferencia entre la masa seca inicial y la masa seca final de cada probeta.

La Norma Española además propone "clases de uso" o "clases de riesgo" que refieren a una adecuada exposición a la que se podría encontrar una madera determinada o el producto derivado de dicha madera. Las mismas son: Clase 1, bajo cubierta, no expuesto a la intemperie ni a la humectación (la pieza no supera el contenido de humedad máximo del 20%, por lo cual el riesgo de ser atacada por mohos de superficie, hongos de azulado, u hongos xilófagos es insignificante); Clase 2, bajo cubierta y no expuesto a la intemperie, pero se puede dar ocasionalmente una humedad ambiental elevada que puede conducir a una humectación ocasional pero no persistente (la pieza supera ocasionalmente el contenido de humedad del 20%, afectando una parte o la totalidad de ésta, permitiendo el ataque por lo tanto el ataque de hongos xilófagos); Clase 3, no está bajo cubierta ni en contacto con el suelo, pudiendo estar permanentemente expuesto a la intemperie, o bien protegido de la intemperie pero sometido a humectación (la pieza supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%, por lo tanto es susceptible a ser atacada a menudo por hongos xilófagos); Clase 4, en contacto con el suelo o con el agua dulce y expuesto a una humectación permanente (la pieza supera permanentemente el contenido de humedad del 20%, por lo tanto es susceptible a ser atacada frecuentemente por hongos xilófagos); Clase 5, permanentemente en contacto con el agua salada (la pieza supera permanentemente el contenido de humedad del 20%, el ataque por invertebrados marinos es el problema principal), (Norma Española UNE-EN 335, 2013).



En la Norma Europea EN 460 del año 1995 para cada clase de durabilidad, según sea expuesta a determinada clase de riesgo, se recomiendan determinadas medidas. Es así que para una madera como la de Ligustro de clase de durabilidad “2” o “durable” correspondería lo siguiente: estando sometida a las clases de riesgo 1, 2 y 3, cuenta con una durabilidad natural suficiente; para la clase de riesgo 4 la durabilidad natural es normalmente suficiente pero en la que puede ser recomendable un tratamiento protector (como ser recubrimiento) para determinados usos; y, en caso de estar expuesta a una clase de riesgo 5, se recomienda normalmente la aplicación de un tratamiento protector, pero para ciertos casos la durabilidad natural puede ser suficiente. Cabe aclarar que los tratamientos protectores sugeridos en las clases 4 y 5 en función del uso de la madera, son particularmente importantes cuando el ataque se presenta en una pieza que al tener comprometida sus propiedades de resistencia mecánica ponen en riesgo la vida de las personas como también aspectos económicos.

Es de tener en cuenta que en la actualidad, en varios lugares de Argentina y otros países del mundo, se está comenzando a utilizar madera (como ser la del Pino ponderosa) en el sistema constructivo Bloques de Madera Encastrada o BME. El mismo supone que la unidad de construcción es el ladrillo de madera. Entre las ventajas se pueden citar: una rápida construcción, reducción de desperdicios en obra y esfuerzo físico de los obreros, aislante térmico y acústico, eficiencia y “diseños ecológicos”, etc. (Todo Madera, 2015; Madera y Construcción, 2015; COPADE 2015). Para este fin es necesario tener en cuenta, entre otras características, la durabilidad, dureza y el índice T/R. De acuerdo con esto, se puede afirmar que la madera del Ligustro muestra superioridad en durabilidad y dureza con respecto a la madera de *Pinus ponderosa* (la cual es empleada como “ladrillo de madera” con fines constructivo) y que si bien sus valores de contracción no son ideales tampoco resultan una limitante. De manera similar, asociadas a la elevada dureza y durabilidad natural se puede citar el uso de maderas nativas como lapacho, anchico, curupay (*Anadenanthera columbrina*), o exóticas de menos dureza y durabilidad como eucaliptus y pino tratadas, en la elaboración de “decks”, es decir madera en suelos construidos para el exterior o interior (Plastificadora Argentina, 2015). Se puede considerar entonces que, la madera de Ligustro clasificada ya con una buena durabilidad natural, podría ser utilizada para tales fines.



## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES

La madera de Ligustro, al ser moderadamente inestable, se mostro con potencialidades de ser utilizada en distintas aplicaciones similares a las de varias nativas y exóticas del mercado argentino. Por ejemplo, en carrocerías, durmientes, construcciones rurales, viviendas, paralelas, postes, puntales; tirantería, entre otros.

Considerada como una madera dura (sumándole a esto a la durabilidad), es una potencial reemplazante de especies nativas que en la actualidad son utilizadas por ejemplo en pisos y deck, lo cual contribuiría a disminuir la presión sobre las mismas. Valores muy altos en los módulos correspondientes a las compresiones paralela y perpendicular a las fibras, indican que la madera de Ligustro, bajo este respecto podría hacer las veces en los mismos usos que asociados a pinoteas, eucaliptus o nativas de plantación o bosque nativo como ser quebrachos. Si bien no se observó una buena respuesta al ensayo de flexión, esto no significaría una limitante, ya que varias maderas que se utilizan con fines estructurales se encuentran en los mismos rangos.

Se constató para la madera en cuestión, una durabilidad natural muy significativa, la cual sugiere su uso aún sin necesidad de ser expuesta a tratamientos adicionales, para la mayoría de las clases de riesgo comunes a las varias aplicaciones, siempre que no se encuentre en permanente contacto con el suelo, el agua dulce o salada.

Resultó llamativo que, siendo el Ligustro una especie de un crecimiento relativamente rápido, pudiese a la vez reunir características tales como una elevada densidad, dureza, durabilidad natural y, en general, altos o muy altos valores para las propiedades mecánicas ensayadas. Sería poco prudente asegurar y sugerir el uso de madera de Ligustro como material estructural sin antes realizar y sumar, a los presentes estudios de investigación, ensayos con piezas de tamaño estructural como así también evaluación sobre la influencia de defectos en el material estructural que arrojen resultados que se correspondan a piezas “reales” como las que son puestas en servicio.



## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM D-2017-81. Reapproved. 1986. Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. ASTM Book of Standards, American National Standard, pp: 348-352.
- Consejo de Planificación y Acción para el Desarrollo (COPADEV). Ministerio de Desarrollo Territorial. Provincia de Neuquén. Disponible en <http://www2.neuquen.gov.ar/copade/contenido.aspx?Id=NOV-4186>. Último acceso: Mayo de 2015.
- Coronel, E.O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la Madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 1 Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Publicación ITM – UNSE. Ed. El Liberal. Santiago del Estero, Argentina. 187pp.
- Coronel, E.O. 1995. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de la Madera. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 2 Parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de la madera. Publicación ITM – UNSE. Ed. El Liberal. Santiago del Estero, Argentina. 335pp.
- Díaz, B.; M. Murace; P. Peri; G. Keil; L. Luna & M. Otaño. 2003. Natural and preservative treated durability of *Populus nigra cv Italica* timber grown in Santa Cruz Province, Argentina. International Biodeterioration & Biodegradation. 52: 43-47.
- Grau, H.R. & R. Aragon. 2000. Ecología de árboles exóticos en las Yungas argentinas. LIEY, Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de las Yungas- Universidad Nacional de Tucumán. 84 pp
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/maderaymuebles/index.php?seccion=maderasnativas>  
Último acceso: febrero de 2015.
- IRAM 9518. 1962. Toxicidad, Permanencia y Eficacia de Preservadores de Madera. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 12 pp.
- IRAM 9532. 1963. Método de determinación de humedad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 14 pp.
- IRAM 9541. 1977. Método de ensayo de compresión paralela a las fibras. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.
- IRAM 9542. 1977. Método de ensayo de flexión estática de maderas con densidad aparente mayor de 0.5 g/cm<sup>3</sup>. Instituto Argentino de Racionalización de materiales. 10 pp.
- IRAM 9543. 1985. Método para la determinación de los valores de contracción de la madera. Instituto Argentino de racionalización de Materiales. 10 pp.



- IRAM 9544. 1985. Método para la determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 10 pp.
- IRAM 9547. 1977. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 5 pp.
- IRAM 9570. 1971. Método de ensayo de la dureza Janka. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. 6 pp.
- Jovanovski, A; G. Loguercio & S. Antequera. 2002. Densidad de la madera de *Pino ponderosa* (Dougl. Ex Laws.) en trece localidades de Argentina. *Bosques* 23(2): 57-67.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de maderas. 1° Ed. Editado por el Proyecto Subregional de Promoción Industrial de la Madera para la Construcción ( PRID\_MADERA) de la Junta de Acuerdo de Cartagena, Lima, Perú. 349 pp.
- Madera y Construcción. COMADA (Cámara de la Madera). Disponible en: <http://maderayconstruccion.com.ar/ladrillos-de-madera-ultima-tendencia-en-construccion/> . Último acceso: mayo de 2015.
- Nebel, J. P., & J. F. Porcile. 2006. La contaminación del bosque nativo por especies arbóreas y arbustivas exóticas. Departamento de Bosque Nativo, Manejo y Protección Forestal. Uruguay. 34 pp.
- Padt-Refort/JUNAC 1984. Manual de Diseño para el Grupo Andino, 1ra edición, Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, Peru. 498 pp.
- Plastificadora Argentina. Disponible en: <http://www.plastarg.com.ar/decks-de-madera.htm>. Último acceso: mayo de 2015.
- Rivera S, M. & E. Galiussi. 2015. Guía de Observación. Clave nº 2 – Identificación macroscópica de especies exóticas. Cátedra de Dendrología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.
- Rivera S. M. & M. S. Lenton. 1999. La xilología y las propiedades mecánicas de cinco maderas nativas argentinas. Quebracho, *Revista de Ciencias Forestales* ISSN (1999), vol 7, pp. 72-78.
- Rivero Moreno, J. 2004. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina* arbórea Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Pasantía Cochabamba, Bolivia. 73 pp.
- Rodrigo Lea Plaza J. 2011. Diseño de estructuras de madera. 1° Ed. Nueva Librería. Buenos Aires, Argentina. 200 pp.
- SAyDS. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Disponible en: [www.ambiente.gob.ar](http://www.ambiente.gob.ar). Último acceso: marzo de 2014.
- Schauman, S. 2011. Estudios xilotecnológicos en *Ligustrum lucidum* como base para definir usos y aplicaciones de su madera. Tesis de Grado de la Carrera de Ingeniería Forestal. FCAyF. 43 pp.



- Silverborg, S. B. y L. de Mayorca. Durabilidad relativa de la parte Central Media y Externa del tronco de 32 Maderas de los Llanos Occidentales. Mérida, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. 1972. 9 p.
- Spavento, E; G. Keil & S. Monteoliva (2008). "Propiedades físicas de la madera". Curso de Xilotecología. Universidad Nacional de La Plata. 29 pp.
- Spavento, E; G. Keil & S. Monteoliva (2008). "Propiedades mecánicas de la madera". Curso de Xilotecología. Universidad Nacional de La Plata. 26 pp.
- Statgraphics Plus 5.1. Copyright 1994-2001 por Statistical Graphic Corp.
- Tinto, J C. 1978. Aporte del Sector Forestal a la construcción de viviendas. IFONA. Folleto Técnico N° 44. 2ª edición. Buenos Aires. 142 p.
- Todo Maderas. La madera en la construcción. Disponible en: <http://www.maderamen.com.ar/madera/index.php?section=pagina&sub=view&id=7108>. Último acceso: mayo de 2015.
- Tortorelli, L. A. 2009. Maderas y Bosques Argentinos. 2da Ed., Tomo 1. Orientación gráfica Editora. Buenos Aires. 576 pp.
- Tortorelli, L. A. 2009. Maderas y Bosques Argentinos. 2da Ed., Tomo 2. Orientación gráfica Editora. Buenos Aires. 595 pp.
- UNE-EN 350-1. 1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera. 20 pp.
- UNE-EN 335. 2013. Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera. 16 pp.
- Zabel, R.A. & J.J. Morrell 1992 Wood microbiology. Decay and its prevention. Academic Press Inc. San Diego, Estados Unidos. 476 pp.



## APÉNDICE 1: ÍNDICES COMPLEMENTARIOS

### Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ensayo de cambios dimensionales: esquemas de probetas, indicando los planos de medición.....	14
<b>Figura 2.</b> Ensayo de dureza: esquema de probetas indicando los puntos de aplicación de las cargas.....	16
<b>Figura 3.</b> Ensayo de flexión estática: esquema de probeta, orientación y puntos de aplicación de cargas.....	17
<b>Figura 4.</b> Ensayo de compresión paralela a las fibras: esquema de probeta, orientación y punto de aplicación de la carga.....	18
<b>Figura 5.</b> Ensayo de compresión perpendicular a las fibras: esquema de probeta, orientación y plano de aplicación de la carga.....	20
<b>Figura 6.</b> Durabilidad natural en laboratorio: esquema de frasco de pudrición inoculado con la cepa xilófaga de ensayo.....	22
<b>Figura 7:</b> Diagrama de caja para valores de MOR en Flexión.....	31
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Flexión: deformación de una probeta de Ligustro expuesta a diferentes cargas.....	31
<b>Figura 9:</b> Diagrama de caja para valores de MOR en Compresión paralela.....	34
<b>Figura 10.</b> Diagrama de Compresión paralela: deformación de una probeta de Ligustro expuesta a diferentes carga.....	34
<b>Figura 11:</b> Diagrama de caja para valores de MOR en Compresión perpendicular.....	37

### Índice de Fotos

<b>Foto A.</b> Balanza analítica.....	11
<b>Foto B.</b> Calibre digital.....	11
<b>Foto C.</b> Desecador.....	11
<b>Foto D.</b> Estufa con termómetro y termostato.....	11
<b>Foto E.</b> Probeta de Ligustro mostrando las tres secciones de estudio luego de realizado el ensayo de dureza Janka.....	28
<b>Foto F.</b> Maquina general de ensayos vista de perfil, conteniendo a su vez una probeta de ligustro ensayada en flexión.....	30
<b>Foto G y H.</b> probetas de Ligustro mostrando diferentes grados de reacción una vez superado el módulo de rotura.....	30
<b>Foto I.</b> Probeta de Ligustro durante la realización del ensayo de compresión paralela a las fibras.....	33
<b>Foto J.</b> Probeta de Ligustro durante la realización del ensayo de Compresión perpendicular a las fibras.....	36

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Ensayos, normas, dimensiones del material y repeticiones por tipo de ensayo.....	9
<b>Tabla 2.</b> Rangos y clasificación de las maderas en función de su densidad aparente normal.....	12
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de las maderas según la relación de estabilidad T/R.....	15
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de las maderas según el contenido de humedad (%) en el punto de saturación de las fibras (PSF).....	15
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de las maderas según valores de Dureza Janka.....	16
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de las maderas en función de su MOR y MOE en flexión estática.....	17



<b>Tabla 7.</b> Clasificación de las maderas en función de su MOR en compresión paralela a las fibras.....	20
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de las maderas en función de su MOR en compresión perpendicular a las fibras.....	21
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de las maderas en función de su porcentaje medio de pérdida de peso y/o peso residual. Clases de durabilidad / Resistencia a la degradación fúngica.....	23
<b>Tabla 10.</b> Valor medio y coeficiente de variación (CV) del contenido de humedad (CH) y densidades aparentes (Da) de la madera de Ligustro.....	24
<b>Tabla 11.</b> Densidad normal (Dn) de la madera de Ligustro y de algunas especies nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.....	25
<b>Tabla 12.</b> Valor medio y coeficiente de variación para los parámetros de cambios dimensionales determinados.....	26
<b>Tabla 13.</b> Valores de contracción radial, tangencial y relación T/R de la madera de Ligustro y de algunas especies nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.....	27
<b>Tabla 14.</b> Valor medio y coeficiente de variación de la dureza de la madera de Ligustro en los 3 planos de estudio.....	28
<b>Tabla 15.</b> Valor medio de dureza Janka perpendicular de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presente en el mercado argentino.....	29
<b>Tabla 16.</b> Valor medio y coeficiente variación del MOR y MOE en flexión.....	30
<b>Tabla 17.</b> Valor medio de los parámetros de flexión de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.....	32
<b>Tabla 18.</b> Valor medio y coeficiente variación de MOR y MOE en compresión paralela.....	33
<b>Tabla 19.</b> Valor medio de compresión paralela de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas del mercado argentino.....	35
<b>Tabla 20.</b> Valor medio y coeficiente variación (indicado entre paréntesis) del MOR en compresión perpendicular.....	36
<b>Tabla 21.</b> Valor medio de compresión perpendicular de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas presentes en el mercado argentino.....	37
<b>Tabla 22.</b> Valor medio de Pp (%) obtenido para la madera de Ligustro.....	39
<b>Tabla 23.</b> Valores de durabilidad natural de la madera de Ligustro y de algunas maderas nativas y exóticas del mercado argentino.....	40
<b>Tabla 24.</b> Clases de durabilidad natural de la madera frente a los hongos xilófagos (Norma UNE-EN 350-1, 1995).....	41

### **Actividades Optativas realizadas y su vinculación con el Trabajo Final**

Propiedades físicas y flexión estática de la madera de *Ligustrum lucidum* (Ligustro).  
Pasantía, Expediente N° 0200-000264/14-000.





### **Una historia, como la vida misma...**

Una familia vive en “Las Marías”, paraje Dos Hermanas, departamento de Gualeguaychú, Entre Ríos. Felipe, el menor de los nueve hijos, era estudiante de Ingeniería Forestal. Una tarde en el campo, mientras estaban perdidos en tareas cotidianas, señalando el nuevo cabo del hacha Servando, su padre, le dijo:

-Mira que buena madera trajo del Tigre tu hermano Marcos. “Ligustro” le dicen.

Felipe, cautivado por las marcas de las lenticelas -agujeritos que reemplazan a los estomas en la corteza- le respondió:

-Ésa... es la “lila”.

-No puede ser –replico– la lila es una porquería, no sirve para nada.

Entonces, el menor tomo el cabo y juntos fueron a ver donde crecían vigorosamente las lilas entre las granadas, otros frutales y demás árboles. Pusieron cabo y fuste juntos.

-Ah..., sí, tenés razón.

Según cuentan, años después el mismo estudiante asistiría al trabajo de investigación de grado de Santiago Shauman, constatando su propia experiencia con los usos que allí se sugerían. Más tarde continuaría con la tarea de valorización, como aporte al control, de *Ligustrun lucidum*, esta especie tan controvertida como posible de oportunidades.