

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

*Maestranda*  
**Elisa Alicia Bobadilla**

## **Durabilidad natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción**

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

*Directora*  
**M. sc. Ing. Ftal. Obdulio Pereyra**

*Co-Directora*  
**M. sc. Ing. Ftal. Fidelina Silva**

**Posadas, 2004**



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**

**DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES  
APTAS PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**ELISA ALICIA BOBADILLA**

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

**Director: M. sc. Ing. Ftal. Pereyra Obdulio**

**Co-Director: M. sc. Ing. Ftal. Silva Fidelina**

**2004**

**A mi esposo  
y mis hijos Liliana, Bruno y Mauricio**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A las autoridades y colegas de la Escuela Provincial de Educación Técnica nº 6 por el tiempo y recursos puestos a mi disposición durante mi formación.
- A las autoridades de la Facultad de Ciencias Forestales por la posibilidad de perfeccionarme.
- A la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, autoridades, personal docente y no docente, por su dedicación y apoyo durante el período de cursado de la Maestría.
- A mi director y Co-Directora, Ing. Pereyra Obdulio y la Ing. Silva Fidelina respectivamente por la orientación y las sugerencias aportadas.
- A la Ing. Eibl Beatriz por el apoyo constante.
- A mi compañera y amiga Ing. Weber Elizabeth.
- A la Ing. Stehr Alicia por su ayuda incondicional.
- A la Profesora Martinez Silvia, por su colaboración.
- A la Lic. Argüelles Teresa, por su valiosa colaboración.
- Al Señor Callaba Ricardo por su aporte y sugerencias.
- A la Ing. Suirezs Teresa, por su incondicional apoyo.
- A La Lic. Miranda Dora por su predisposición ante cualquier requerimiento.
- A la Ing. Barth Sara por su valiosa colaboración en la etapa final de mi trabajo.
- Al Ing. Toloza Roque por las fotos de plantaciones de Toona y Grevillea.

## RESUMEN

El objetivo general de este trabajo fue determinar la resistencia natural de la madera de cinco especies aptas para la Industria de la construcción frente al ataque de tres cepas de hongos xilófagos bajo dos condiciones: natural y después de sufrir ciclos de lavado. Como objetivo específico se planteó: a) Determinar la resistencia natural de las especies Loro blanco (*Bastardiopsis densiflora*), kiri (*Pawlonia sp.*), Toona (*Toona ciliata*), Grevillea (*Grevillea robusta* Cunn.) y Paraíso (*Melia azedarach* L.) al ataque de hongos *Picnoporus sanguineus*, *Laetiporus sulfureus* y *Ganoderma applanatum*. b) Constatar si frente al ataque de los tres hongos bajo estudio y la eliminación de las sustancias solubles en agua se altera la resistencia de las maderas de las cinco especies antes mencionadas. c) Clasificar siguiendo los Criterios de Findlay en categorías de resistencia de acuerdo al porcentaje de pérdida de peso. La madera fue seleccionada al azar en industrias locales, las cepas de hongos fueron proporcionadas por el Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Se utilizaron 5 probetas de maderas sanas de 3 x 1 x 0,5 cm, por especie de madera y de hongos. Las probetas fueron sometidas, en laboratorio, a la acción de cepas de hongos xilófagos y colocadas en estufa a 28 °C durante tres meses, transcurrido este periodo, se pesó cada una de las probetas y se determinó el porcentaje de pérdida de peso con respecto su valor al inicio del experimento.

Los valores de pérdida de peso obtenidos fueron procesados y analizados estadísticamente. Con dicho análisis y de acuerdo a la clasificación de Findlay se arribó a las siguientes conclusiones:

1. La madera de Toona es resistente, independientemente de los tratamientos y de los hongos ensayados.

2. Moderadamente resistente resultó la madera de Kiri independientemente de los tratamientos, cuando eran sometidas a la acción de los hongos *Picnoporus* y *Laetiporus* y no resistente en caso del hongo *Ganoderma*.
3. La madera de Grevillea es resistente frente al ataque de los hongos *Laetiporus* y *Ganoderma* en estado natural, y moderadamente resistente frente a los mismos hongos después de sufrir ciclos de lavado. No resistente en el caso del *Picnoporus* para ambos tratamientos.
4. La madera de Paraíso resultó ser no resistente y percedera, frente a la acción de las tres especies de hongos y para ambos tratamientos.
5. El Loro blanco es resistente en estado natural y percedera después de lavada frente a la acción del hongo *Laetiporus*, frente a la acción de los otros hongos resultó entre moderadamente resistente y no resistente, para los dos tratamientos, aplicados simultáneamente.

**Palabras claves:** Resistencia Natural, Hongos Xilófagos

## Summary

The general objective of this work was to determine the natural resistance of five species of wood apt for the Building Industry, submitted to the attack of three xylophagous fungi under two conditions: a natural one and also after washing cycles. As specific objectives, it was planned to: a) Determine the natural resistance of the species Loro blanco (*Bastardiopsis densiflora*), Kiri (*Pawlonia sp*), Toona (*Toona ciliata*), Grevillea (*Grevillea robusta Cunn*) and Paraíso (*Melia Azedarach L*), to the attack of the following fungi: *Picnoporus sanguineus*, *Laetiporus sulfureus* and *Ganoderma applanatum*. b) Verify if the wood resistance of the five species mentioned before was altered after being submitted to the elimination of the soluble substances in water, facing the attack of the three studied fungi. c) Classify, according to Findlay criteria, categories of resistance, according to the percentage of weight loss. Wood was selected at random from local industries. The fungi were supplied by the Department of Biological Sciences of the Faculty of Natural and Exact Sciences- UBA. Five test tubes of 3 x 1x 0,5 cm of clear timber of each species of wood and the different kinds of fungi were used. They were submitted to the action of fungi and kept in a laboratory stove at 28 °C during three months. After this period, each test tube was weighed and the percentage of the weight loss compared to the weight of the same at the beginning of the experience was determined.

The obtained values of weight loss were statistically processed and analysed. From that analysis and according to Findlay classification, the following conclusions were achieved:

1. Toona wood is resistant regardless of the treatment and the fungi.

2. Kiri wood evidenced to be moderately resistant, regardless of the treatment applied, when it was submitted to the action of the fungi *Picnoporus sanguineus*, and *Laetiporus sulfureus*. It was non-resistant in the case of the *Ganoderma applanatum* fungus
3. Grevillea wood is resistant to the attack of the fungi *Laetiporus sulfureus* and *Ganoderma applanatum*, in a natural condition, and is moderately resistant after washing cycles. It is non-resistant in the case of the *Ganoderma applanatum* fungus.
4. Paraíso wood resulted to be non-resistant and perishable facing the action of the three fungi and both treatments.
5. Loro blanco is resistant in natural condition and perishable after being washed facing the action of *Laetiporus sulfureus* fungus. Regarding the other two fungi it resulted to be moderately resistant and non-resistant for both treatments simultaneously applied.

**Key words:** Natural resistance, Xylophagous fungi.



<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
RESUMEN	I
PALABRAS CLAVES	II
SUMARY	III
KEY WORDS	IV
CONTENIDO	V
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE GRÁFICAS	XII
LISTA DE FOTOS	XIV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos Especificos	4
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	4
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. ANTECEDENTES	4
4.1 Ubicación Geográfica	4
4.2 Fundamentación	5
4.3 Características generales de las especies estudiadas	7
4.3.1 <i>Melia azedarach</i> L. - Paraíso, persian lilac	7
4.3.2 <i>Paulownia tomentosa</i> (Thumb ex Murr) Steud. - kiri	11
4.3.3 <i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. (ex R.Br) – Grevillea	15
4.3.4 <i>Toona ciliata</i> - Toona M. Roem. var. australis - Toona, cedro australiano	19
4.3.5 <i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook et Arn)) Hassl.- Loro blanco	22
4.4 Estructura Anatómica de la madera	26
4.4.1 Corteza	26
4.4.2 Cambium	26
4.4.3 Xilema	26

4.5 El agua en la Madera	27
4.6 Conceptos sobre durabilidad natural	29
4.6.1 Introducción	29
4.6.2 Características organolépticas	32
4.6.3 Características químicas	33
4.6.4 Propiedades físicas	33
4.6.5 Propiedades mecánicas	33
4.6.6 Estabilidad dimensional	33
4.6.7 Condiciones de trabajabilidad	34
4.7 Propiedades conocidas de las maderas estudiadas	34
4.7.1 Propiedades Físicas	34
4.7.2 Propiedades Mecánicas	35
4.8 Protección natural de la madera	36
4.9 Hongos	38
4.9.1 Características generales	38
4.9.2 Ciclo de desarrollo de los hongos	39
4.9.3 Acción sobre los Constituyentes de la Pared Celular	40
4.9.3.1 Celulosa	40
4.9.3.2 Lignina	41
4.9.3.3 Hemicelulosa	43
4.9.4 Factores que influyen en el desarrollo de los hongos en la madera	45
4.9.4.1 Humedad	45
4.9.4.2 Temperatura	45
4.9.4.3 Oxígeno	45
4.9.5 Efectos de la pudrición sobre las propiedades de la madera	46
4.9.6 Hongos xilófagos. Breve descripción. Acción	46
4.9.7 Tipos de pudriciones. Breve síntesis de las mismas	50

4.9.7.1 Pudrición Blanca	50
4.9.7.2 Pudrición Castaña	51
4.9.7.3 Pudrición Blanda	51
4.9.7.4 Comparación entre características de las pudriciones blanca y parda en la madera	52
4.10 Descripción general de las especies de hongos ensayadas	53
4.10.1 Ganoderma applanatum:	53
4.10.2 Laetiporus sulphureus	55
4.10.3 Pycnoporus sanguineus	57
4.11 Requerimientos en maderas para la construcción de viviendas	59
4.11. 1 Conservación de la madera para la construcción	64
4.12 Método para determinar la durabilidad de la madera	67
4.12.1 Introducción	67
4.12.2 Pruebas Aceleradas en Laboratorio	67
5. MATERIALES Y MÉTODOS	70
5.1 Madera	70
5.2 Hongos	70
5.3 Metodología	71
5.3.1 Diseño estadístico	71
5.3.2 Etapas	73
5.3.2.1 Preparación de las probetas	73
5.3.2.2 Estabilización de las probetas	73
5.3.2.3 Esterilización y humectación de las probetas de maderas naturales	73
5.3.2.4 Lavado, esterilización y humectación de las probetas sometidas a ciclos de lavado	74

5.3.2.5 Determinación de la pérdida de peso de las probetas sometidas a lavado con agua destilada en extractor Soxhlet	75
5.3.2.6 Preparación del medio de cultivo	76
5.3.2.7 Selección y cultivo de hongos	76
5.3.2.8 Colocación de las probetas en tubos con micelio de hongos	77
5.3.2.9 Retiro de las probetas y estabilización	81
5.3.2.10 Pérdida de peso del tejido leñoso	82
6. RESULTADOS	83
6.1 Pérdidas de peso por: tratamiento – hongo - madera	83
6.2 Pérdida de peso considerando la totalidad de las interacciones	85
6.3 Análisis de Efectos. 1-Tratamiento, 2-Hongo, 3- Madera	88
6.4 Comparación de Medias – Especie – Hongo - tratamiento	89
6. 5 Análisis de Variancia.	95
6.5.1 Test de Tukey	95
7. CLASIFICACIÓN DE FINDLAY	97
8. CONCLUSIONES	98
9. BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	105
A. Información base	105
B. Procesamiento estadístico	111
1. Medias, Interacción: tratamiento – hongo - madera	111
2. Desvío Estándar. Interacción: tratamiento – hongo - madera	112
3. Coeficiente de variación. Interacción: tratamiento – hongo - madera	113
C. Comparación de medias por categoría	114

**LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla nº 1. Clasificación de la durabilidad natural	32
Tabla nº 2. Propiedades físicas de Kiri, Paraíso y Cedro australiano	34
Tabla nº 3. Propiedades mecánicas de Kiri, Paraíso y Cedro australiano	35
Tabla nº 4. Diferenciación entre tipos de pudriciones de la madera	52
Tabla nº 5. Cuadro comparativo de características de distintos materiales de construcción	63
Tabla nº 6. Clasificación por resistencia de las maderas según pérdida de peso	69
Tabla nº 7. Clasificación de la resistencia de las maderas según norma ASTM-D-2017	69
Tabla nº 8. Diseño experimental	72
Tabla nº 9. Medias de pérdida porcentual de peso, según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada	84
Tabla nº 10. Porcentaje de Pérdida de Peso según tratamiento, especie maderera y hongo	85
Tabla nº 11. Interacciones tratamiento – hongo – madera	88
Tabla nº 12. Resultados de los Efectos	88

Tabla nº 13. Test de Tukey; variable % Pérdida de Peso	96
Tabla nº 14. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Laetiporus sulfureus</i> . Tratamiento: Lavado	97
Tabla nº 15. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Picnoporus sanguineus</i> . Tratamiento: Lavado	97
Tabla nº 16. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Ganoderma applanatum</i> . Tratamiento: Lavado	97
Tabla nº 17. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Laetiporus sulfureus</i> . Tratamiento: Natural	98
Tabla nº 18. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Picnoporus sanguineus</i> . Tratamiento: Natural	98
Tabla nº 19. Grado de Resistencia según Findlay. Hongo: <i>Picnoporus sanguineus</i> . Tratamiento: Natural	98
Tabla nº 20. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo <i>Pycnoporus</i> , según especie maderera ensayada	105
Tabla nº 21. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo <i>Laetiporus</i> , según especie maderera ensayada	106
Tabla nº 22. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo <i>Ganoderma</i> , según especie maderera ensayada	107

Tabla nº 23. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo <i>Pycnoporus</i> , según especie maderera ensayada	108
Tabla nº 24. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo <i>Laetiporus</i> , según especie maderera ensayada	109
Tabla nº 25. Planilla Base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo <i>Ganoderma</i> , según especie maderera ensayada	110
Tabla nº 26. Medias de pérdida porcentual de peso, según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada	111
Tabla nº 27. Desvíos Estándares de pérdida porcentual de peso según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada	112
Tabla nº 28. Coeficiente de variación de pérdida porcentual de peso según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada	113

**LISTA DE GRÁFICAS**

	<b>Pág.</b>
Gráfica nº 1. Cámara húmeda	73
Gráfica nº 2. Contraste de medias por categoría. Especie maderera Grevillea	90
Gráfica nº 3. Contraste de medias por categoría. Especie maderera Loro blanco	92
Gráfica nº 4. Valores medios de Pérdida de Peso. Especie Loro blanco	93
Gráfica nº 5. Valores medios de Pérdida de Peso. Especie Paraíso	93
Gráfica nº 6. Valores medios de Pérdida de Peso. Especie Kiri	94
Gráfica nº 7. Valores medios de Pérdida de Peso. Especie Grevillea	94
Gráfica nº 8. Valores medios de Pérdida de Peso. Especie Toona.	95
Gráfica nº 9. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Grevillea	115
Gráfica nº 10. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Kiri	116
Gráfica nº 11. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Paraíso	117



Gráfica nº 12. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Toona

## LISTA DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto nº 1. <i>Melia azedarach</i> . Caracteres identificatorios de la especie	10
Foto nº 2. <i>Paulownia tomentosa</i> . Caracteres identificatorios de la especie	14
Foto nº 3. <i>Grevillea robusta</i> . Caracteres identificatorios de la especie	18
Foto nº 4. <i>Toona ciliata</i> . Caracteres identificatorios de la especie	21
Foto nº 5. <i>Bastardiopsis densiflora</i> . Caracteres identificatorios de la especie	25
Foto nº 6. <i>Ganoderma applanatum</i>	54
Foto nº 7. <i>Laetiporus sulphureus</i>	56
Foto nº 8. <i>Pycnoporus sanguineus</i>	58
Foto nº 9. Extractor Soxhlet	75
Foto nº 10. Especie maderera ensayada: <i>Toona ciliata</i> . Hongo: <i>Ganoderma applanatum</i>	78
Foto nº 11. Especie maderera ensayada: <i>Toona ciliata</i> . Hongo: <i>Laetiporus sulphureus</i>	79
Foto nº 12. Especie maderera ensayada: <i>Toona ciliata</i> . Hongo: <i>Pycnoporus sanguineus</i>	80
Foto nº 13. Probetas tras la eliminación de todo resto de micelio	81

## 1. INTRODUCCIÓN

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, cuando con el transcurso del tiempo la madera sufre alteraciones.

Entre las causas que provocan alteraciones de la madera, ocupan un lugar muy importante los seres vivos, los cuales pueden ser agrupados en tres categorías: hongos xilófagos, insectos y animales marinos.

Los hongos xilófagos son responsables de grandes pérdidas económicas por la destrucción de enormes cantidades de madera, principalmente aquellas destinadas a la construcción de viviendas. Tal es la importancia, que ha dado origen a la industria de la preservación de madera. La acción de los hongos xilófagos, depende fundamentalmente de las condiciones de uso, donde la presencia de agua y oxígeno en cantidades relativamente importantes, determinan situaciones favorables para la vida y desarrollo de las colonias.

Las maderas pueden ser clasificadas según su uso y cada una de ellas, sujeta a distintos niveles de riesgo de ataque de hongos (García Sola, 1974):

1. Maderas en contacto directo y permanente con el suelo: postes de luz, durmientes. Riesgo importante y constante con amenaza de destrucción.

2. Madera que no está en contacto directo con el suelo, pero que puede sufrir períodos largos de exposición a la humedad: estructuras a la intemperie. Riesgo importante de ataque con lenta evolución.

3. Madera que no está en contacto directo con el suelo, pero que sufre rehumedificaciones por acción directa de lluvias: aleros de techos. Riesgo constante de evolución lenta.

4. Maderas que no están en contacto con el suelo y al abrigo de la intemperie. Sin riesgo de ataque.

5. Maderas totalmente sumergidas en agua salada que no sufren ataque alguno.

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 (Carballeira López et al, 1986).

En determinadas maderas muy densas, existe una mayor resistencia al ataque de los hongos, lo que se debe a la dificultad que ofrecen los tejidos leñosos a la circulación del agua y del oxígeno, imprescindibles para la vida y desarrollo de las colonias de hongos (Carballeira López et al, 1986).

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 preservativo.

En el marco de un proyecto realizado por el área Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones sobre cualidades físicas y mecánicas de la madera se estudió la durabilidad natural de las especies Loro blanco, Kiri, Toona, Grevillea y Paraíso, determinándose que las mismas son aptas para su utilización en construcción y la industria de muebles.

Las especies tenidas en cuenta en este estudio son implantadas en la zona con resultados altamente satisfactorios en cuanto a desarrollo volumétrico, rápido crecimiento, y adaptación a las condiciones climáticas. (Ministerio de

Ecología y Recursos Naturales Renovables, 2001). Un gran aliciente para el cultivo de las mismas es el que se encuentren bajo el régimen de incentivos Ley Nacional 25080.

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. En las construcciones de viviendas es reconocido el uso casi exclusivo de pinos impregnados, lo que implica un costo adicional a las obras, el uso más frecuente es para estructuras internas y externas y como revestimiento. Dado este panorama se busca potenciar la diversificación a través del fomento del uso de otras especies, impulsando el incremento de las superficies implantadas tomando en cuenta una multiplicidad de especies forestales. (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables, 2001).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Determinación de la resistencia natural de la madera de las especies Loro blanco (*Bastardiopsis densiflora*), Kiri (*Pawlonia sp.*), Toona (*Toona ciliata*), Grevillea (*Grevillea robusta Cunn.*) y Paraíso (*Melia azedarach L.*), expuestas al ataque de tres cepas de hongos xilófagos, bajo condición natural y luego de sufrir ciclos de lavados.

## 2.2 Objetivos Específicos

a) Determinar la resistencia natural de las especies, frente al ataque de los hongos *Pycnoporus sanguineus*, *Laetiporus sulphureus* y *Ganoderma applanatum*.

b) Determinar la resistencia de la madera de estas cinco especies después de eliminar las sustancias solubles en agua.

c) Clasificar las maderas de las especies estudiadas de acuerdo a los Criterios de Findlay en categorías de resistencias.

## 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis de trabajo sostiene que las maderas sujetas a ciclos de lavados serían las más resistentes, ya que de las mismas fueron extraídas las sustancias solubles en agua que son para los hongos una fuente importante de alimentación.

## 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. ANTECEDENTES

### 4.1 Ubicación Geográfica

La selva Misionera es una prolongación en territorio argentino de la Selva Paranaense de los Estados Brasileños de Paraná, Santa Catalina y el Oeste del Paraguay, constituye una unidad bien definida asimilable al tipo fisonómico de Bosque Húmedo Subtropical de Holdrige, de extraordinaria riqueza en especies diferentes, heterogéneas, siendo considerada por especialistas como el sistema de mayor diversidad y complejidad ecológica.

A principios de siglo existían 100 millones de hectáreas de selva paranaense, principalmente en el sur de Brasil, el oriente Paraguayo y sólo 2,5 millones de hectáreas en Misiones Argentina.

En Brasil restan no más de 5% de este tipo de selvas, en Paraguay algo más del 10%, en Argentina sin embargo, la Provincia de Misiones conserva casi el 55% de la cobertura boscosa original.

La selva Misionera es un bosque subtropical multiestratificado, con clima isohigro, de hasta 2000 mm anuales de precipitación pluvial, donde conviven 2000 especies de plantas vasculares; encontrándose una abundancia excepcional; en apenas 1,08 % de la superficie continental Argentina, la selva misionera alberga casi el 40% de la biodiversidad nacional.

Esta selva en sus variados distritos fitogeográficos, está integrada por ejemplares leñosos de 20 a 40 de metros de altura sin especies dominantes, ya que hasta 50 de ellas llegan a compartir el terreno, con estratos de árboles menores y un sotobosque denso integrado por helechos arborescentes, bambúceas y otras especies. (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables, 2001).

## **4.2 Fundamentación**

Dentro del Programa de Investigación llevado a cabo por el Departamento de Tecnología e Industria de la Madera, dependiente de la Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Misiones, surge la necesidad de estudiar determinadas especies de manera minuciosa, práctica y con resultados aplicables al medio industrial. Se analiza en dichas especies las características y el comportamiento ante determinados procesos.

Ante la escasez de maderas del bosque nativo y un aumento permanente en los requerimientos por parte de la industria (González et al), que demanda alternativas a la clásica madera de *Pinus spp*, y a efectos de suplir deficiencias en la obtención de materia prima y datos que son necesarios para el sector industrial, se determina la necesidad de estudiar el comportamiento tecnológico

de las maderas de cinco especies forestales que prosperan en la Provincia de Misiones. En efecto se procedió a estudiar:

Paraiso (*Melia azederach*), especie introducida, y de la cual se conoce poco y en algunos casos no existe información local.

Kiri (*Pouwlonia sp*), especie de rápido crecimiento con buen mercado externo y con posibilidades de darle un alto valor agregado en bienes semiterminados o terminados.

Toona o Cedro Australiano (*Toona ciliata*), introducida experimentalmente a Misiones hace unos años con la finalidad de posibilitar el reemplazo del Cedro Misionero (*Cedrela fissilis*) cuya reforestación está limitada por el permanente ataque de la "Mariposita del brote" (*Hypsiphila grandella*). Las extensiones implantadas con Toona no superan algunas decenas de hectáreas, su excelente madera, aceptada mundialmente, posee para las condiciones de desarrollo local características desconocidas, por lo que se ha considerado conveniente su inclusión dentro del estudio programado.

Grevillea (*Grevillea robusta*), especie que al igual que las anteriores es desconocida en cuanto a las características tecnológicas y a su comportamiento al maquinado pero que presenta un potencial para la producción de muebles y aberturas.

Decidiéndose además incluir a Loro blanco (*Bastardiopsis densiflora*), madera nativa de la selva misionera dominante y con muy buen desarrollo en cuanto a volumen. (Ottone, J. R., 1996).



## 4.3 Características generales de las especies estudiadas

### 4.3.1 *Melia azedarach* L. - Paraíso, persian lilac

**Clase: Dicotiledóneas - Familia: Meliáceas.**

Especie de porte arbóreo, se distribuye en la región de la India, Pakistán, Sri Lanka a Burma (Myanmar), o Tailandia, Laos, Vietnam, Camboya a Indomalasia, o Sur del Brasil; indígena en la parte norte de India, hoy en día extensamente cultivada en Asia y la parte Sur de América Latina.

#### **Aspectos generales**

Límites de los anillos de crecimientos distintos, de porosidad anular, maderas de plantaciones frecuentemente con anillos de crecimiento extremadamente anchos, hasta de 2 cm. Duramen de color light pinkish café (rosado), coloración uniforme, distinta en albura y duramen, con albura de tonalidad amarillo claro blanquizo.

Olor indistinto o ausente, peso específico básico: 0,5-0,65 g/cm<sup>3</sup>. Las maderas provenientes de plantaciones son de gran potencial comercial.

Vasos presentes. Madera de porosidad anular o semianular, los vasos se disponen en cadenas oblicuas y/o radiales o en patrones no específicos agrupados en general en grupos cortos de dos o tres vasos. Las placas tienen perforaciones simples. Posee engrosamientos en espiral sólo en los vasos estrechos, en la parte central de los elementos de vasos.

No posee tílido, si otros depósitos de color marrón rojizo oscuro, predominantemente en los vasos de la madera temprana.

Las fibras son de paredes finas o medianas y de un largo mediano o largo, engrosamientos en espiral, no septadas.

Parénquima axial presente en bandas anchas iniciales incluyendo a los vasos de la madera temprana, con más de tres células de ancho.

Radios multiseriados, posee 3-5 radios por mm, con 4 a 8 células de ancho, comúnmente altos (500 a 1000  $\mu\text{m}$ ). Los radios están compuestos por un solo tipo de células (homocelulares). Células de los radios homocelulares procumbentes.

No posee estructura estratificada, tampoco estructuras secretoras (oleíferas y musiláginosas), canales intervasculares ausentes. Lacticíferos o tubos taniníferos ausentes. Variantes del cambium, floema incluso ausente. Las células de los radios contienen cristales, prismáticos o en las células del parénquima axial. En los radios las células cristalíferas son procumbentes y en el parénquima axial las células son septadas. En cuanto a número de cristales por células o cámara, posee uno. No se observan Cistólites y sílica. (Tortorelli, L., 1956. Madera y Bosques Argentinos).

Es una especie que ha tenido un desarrollo interesante en la Provincia de Misiones. Su rápido crecimiento y la calidad y color de la madera, parecida a la de los Cedros nativos (Cedrela), ha hecho que sea buscada para sustituir parcialmente a estos, especialmente para debobinado a ser utilizado como cara en la industria del terciado, entre otros.

La disminución permanente de las maderas nativas y el aumento creciente en la necesidad de láminas para la industria, agregándose últimamente también la fabricación de paneles, hace necesario que se exploren a fondo todos los caminos posibles para mejorar al paraíso. (Crotto, J. E. "Los superárboles y el potencial forestal del nordeste argentino". 2º parte. Revista de la Asociación Forestal Argentina. Año XLIV-N1. Abril de 1990).

Si bien, como se ha expresado anteriormente, se trata de un árbol originario de Asia, en la región del Himalaya, es cultivado en todo el país por sus condiciones de rusticidad al suelo y al clima, crece bien en terrenos fértiles y bien drenados y con temperaturas no muy bajas, exigiendo precipitaciones del orden de 800 mm anuales.

En la Provincia de Misiones el Paraíso fue implantado inicialmente en la Ciudad de Leandro N. Alem en el año 1950. Es un árbol de 8 a 12 m de altura, copa globosa, corteza rugosa, las hojas son alternas, caedizas, imparipinadas, triangulares, compuestas. Las flores son muy numerosas y pequeñas, agrupadas en racimos axilares, erectos, largamente pedunculados. El fruto es algo carnosos, globoso de unos 2 cm de diámetro, tóxico para los animales. (Leonardis, 1977).

Su madera presenta rasgos parecidos al cedro misionero, con albura estrecha de color amarillo ocre, netamente diferenciada del duramen castaño rojizo. De brillo mediano, especialmente en las caras tangenciales, su densidad es de 0,520 g/cm<sup>3</sup>. Las contracciones son medianas y la estabilidad dimensional intermedia; comportándose correctamente en servicio. Estaciona sin dificultad y relativamente rápido, admitiendo normas aceleradas de secado artificial. Es poco durable en contacto con el suelo. En condiciones normales de humedad es durable y no es atacada por insectos xilófagos. El duramen es poco penetrable, (Tinto, 1978), con absorción mediana. Es una madera blanda fácil de trabajar, se presta bien para proceso de rebobinado y corte plano, admite bien las colas, lustres y barnices. (Leonardis, 1977).

El paraíso tiene una regeneración natural abundante, y los tocones emiten abundantes renuevos. (Gartland y Bohren, 1990).

Foto n° 1: Se observan otras características descriptivas de la especie.



Foto nº 1. *Melia azedarach*. Caracteres identificatorios de la especie.

#### **4.3.2 *Paulownia tomentosa* (Thumb ex Murr) Steud. - kiri**

**Clase: Dicotiledóneas - Familia: Bignoniaceae.**

*Paulownia tomentosa* tiene su origen en las Provincias de Honan, Hopei, Hupeh y Shantung de China. (Boelcke, 1992).

Especie de porte arbóreo, se distribuye en la región geográfica del Asia templada siendo cultivada mundialmente en zonas de clima templado y subtropical.

##### **Aspectos generales**

Límites de los anillos de crecimientos distintos, duramen de color blanco o gris, de color uniforme. Coloración de la albura similar a la del duramen.

Olor indistinto o ausente, peso específico básico: 0,25-0,3 g/cm<sup>3</sup>.

Vasos presentes, madera de porosidad anular o semianular, dispuestos en patrón no específico, agrupados en grupos radiales cortos de dos o tres vasos. Borde de los vasos angular, promedio del diámetro tangencial de los vasos en la madera de primavera de 200-300  $\mu\text{m}$ , promedio de los vasos grande o muy grande, placas de perforación simples.

Engrosamientos de la pared de los vasos estrechos en la parte central, hay tílido en los vasos de paredes finas.

Las fibras y traqueidas poseen paredes finas, con punteaduras sólo en las paredes radiales simples o con aréolas minúsculas; fibras no septadas.

Parénquima axial en bandas o no, células marginales dispuestas en forma de bandas, más ancho que los radios, gruesas con más de 3 células de ancho, promedio entre 3-5 células.



Radios, multiseriados, radios con 2 a 5 células de ancho, comúnmente finos y compuestos por un sólo tipo de células procumbentes (homocelulares), o compuesto por dos o más tipos de células cuadradas y erectas, (heterocelulares).

No posee estructura estratificada; sin estructuras secretoras, llámese células oleíferas, mucilaginosas; canales intervasculares ausentes; laticíferos o tubos taniníferos ausentes. No se observa cristales y sílica. Fuente: Richter, H. G. and Dallwitz, M. J. (2000 onwards). Commercial Timbers: descriptions, illustration, identification, and information retrieval. Version: 18th October 2002.

*Paulownia tomentosa* es un árbol de hasta 15 metros de altura, tronco recto, cilíndrico. Su mejor desarrollo se obtiene en suelos fértiles, sueltos y profundos, con buen drenaje, no prospera en los terrenos arcillosos. Su cultivo se extendió esporádicamente en la Argentina como ornamental por la belleza de sus flores perfumadas, que cubren totalmente la copa. Luego comenzó su implantación en la Provincia de Misiones con gran suceso, por su extraordinario crecimiento, que en ciertos casos llega a los 40 m<sup>3</sup>/ha/año, por lo cual al cuarto o quinto año puede iniciarse su aprovechamiento mediante el sistema de raleos sucesivos. Desde el punto de vista silvicultural, la misma planta puede ser aprovechada hasta 3 cortes seguidos, ya que rebrota con facilidad. Soporta bien las sequías y heladas, perdiendo las hojas durante el invierno, (Fernández et al, 1997).

Su madera es buena para determinados usos, tiene albura y duramen poco diferenciado, siendo éste último de color blanco-amarillento con tonalidades rosadas. Recibe con facilidad adhesivos y pinturas. La densidad media es de 0,240 g/cm<sup>3</sup>, presentando buena estabilidad dimensional en servicio. Es poco durable a la intemperie. Puede impregnarse sin dificultad. Se trabaja con suma facilidad, resultando una madera blanda, dócil, sin tendencia a rajaduras en el clavado, pero con poca adherencia. Toma bien los tintes,

barnices, pintura y colas. Se utiliza para embalajes, muebles de todo tipo, tacos de zapatos, persianas, entre otros. (Leonardis, 1977).

Paraíso (*Melia azedarach*) y Kiri (*Paulownia tomentosa*) son especies de requerimientos edáficos muy similares a los de la araucaria, o sea presentan los mejores crecimientos en suelos profundos, fértiles y bien drenados. En suelos someros y pedregosos su crecimiento es bastante inferior y no se recomienda su cultivo en suelos hidromórficos.

Foto n° 2: Se observan otras características descriptivas de la especie.



Foto nº 2. *Paulownia tomentosa*. Caracteres identificatorios de la especie.



### **4.3.3 *Grevillea robusta* A. Cunn. (ex R.Br) – Grevillea**

**Clase: Dicotiledónea - Familia: Proteaceae.**

*Grevillea robusta*, conocida comúnmente como roble sedoso o roble plateado, ha ganado gran popularidad en regiones de temperatura cálida, subtropical y tierras altas tropicales de muchos países. Originalmente, se usó como árbol de sombra para el Té y Café. Proporciona valiosos productos económicos incluyendo madera, postes, leña, entre otros. Es un material fácil de propagar y establecer y está relativamente libre de plagas y enfermedades. Sus raíces proteoides contribuyen a su crecimiento en suelos pocos fértiles. Por su característica semejante a los helechos y su prominente y atractiva floración de color naranja, es también popular como ornamental.

Es un árbol erecto de un solo tronco que típicamente alcanza un tamaño adulto de 20 a 30 m de altura y 80 cm de diámetro en su rango natural.

El medio ambiente natural de la *Grevillea robusta* está en New South Wales y el sur de Queensland, en Australia, donde se presenta desde la costa este hasta las montañas Bunya en el oeste de Queensland, hasta una altitud de 1120 m (Harwood, 1992<sup>a</sup>). Esta especie ha sido introducida en climas templados, regiones altas tropicales y subtropicales alrededor del mundo desde la mitad del siglo XIX, y es plantada también en India, Sri Lanka, América Central y Sur y muchos países en África.

*Grevillea robusta* tiene buen desarrollo si las estaciones secas no duran más de cuatro meses, es de crecimiento pobre en ambientes tropicales donde la temperatura media excede los 23° C y en sitios húmedos en los cuales se superen los 2000 mm anuales.

Tiene cierta resistencia a las heladas, puede sobrevivir a temperaturas de – 8° C, en los meses de invierno en regiones templadas, esto puede

acarrearle problemas si esta en periodo de crecimiento, es poco resistente a los vientos constantes ya que se produce la rotura de las ramas.

En cuanto a la madera de la *Grevillea robusta*, posee una densidad en seco del duramen de aproximadamente 550 a 650 kg/ m<sup>3</sup>.

Al ser cortada, la madera del duramen presenta una tonalidad rosa claro volviéndose marrón rojizo oscuro luego de secar, su albura es de color crema.

Su madera se utiliza básicamente para la fabricación de muebles, embalajes, pisos, paneles, triplex y la manufactura de pequeños objetos tales como lápices. (Bolza y Keating, 1972; Skolmen, 1974). La madera de *Grevillea robusta* produce pulpas de fibra corta de aceptable calidad (Ghosh, 1972), pero no ha sido usada a escala comercial. Las ramas y los tallos son usados para leña y carbón. Se emplea además en postes para la construcción de casas en zonas rurales, andamiaje y alfardas. (Spiers y Steward, 1992)

Es una especie que se propaga por semillas, hay aproximadamente 40.000 semillas viables/kg. Las semillas retienen su viabilidad por lo menos durante 5 años si son secadas por debajo del 8% de contenido de humedad y almacenadas en un medio seco y frío (20° C ó menos). Joners, 1976; Gunn, B. V., CSIRO Forestry and Forest Products, 1998.

En lo referente a crecimiento y/o rendimiento cabe mencionar que en regiones tropicales el rendimiento de madera es de aproximadamente de entre 10-12 m<sup>3</sup>/ha, en periodos de rotaciones de 10 a 15 años, con 800 - 1200 árboles/ha, mas bien tiene rendimiento bajo. (Pandey, 1987).

*Grevillea robusta* es una especie colonizadora muy efectiva y puede convertirse en una maleza perniciosa. (Nelson y Schubert, 1976).

Especie originaria de los bosques subtropicales del sudeste australiano, junto a la *Araucaria cunninghamia*, es un árbol de gran porte, alcanzando 15 a 20 metros de altura y 1 a más metros de diámetro, presentado fuste recto, (Leonardis, 1977).

En el norte de nuestro país ha adquirido interés entre los forestadores de Tucumán, Salta, Jujuy, Misiones, Corrientes y Chaco, dado que en esas áreas presenta buen crecimiento.

Exhibe una excelente madera, de estructura y jaspeado altamente vistoso, similar al roble; su albura es de color blanco grisáceo y duramen castaño rosado claro. Textura mediana, grano derecho, la densidad es de 0,600 gr/cm<sup>3</sup> en material seco al aire. Es poco durable en contacto con el suelo. Se impregna con relativa facilidad, presentando absorción buena y penetración difusa. Es madera semidura, (Tinto, 1978), fácil de trabajar en todos los procesos, tanto manuales como mecánicos. Se debobina fácilmente y toma bien las colas, tintes, lustres, barnices y pinturas. (Leonardis, 1977).

De acuerdo a la evaluación realizada por Fernández et al, (1997), ésta especie se comporta bien en la zona, específicamente los orígenes procedentes de Nimbim, Duck Creek, Bunya Mts y Albert R son los más promisorios para continuar en las sucesivas etapas de introducción de ésta especie.

Foto nº 3: Se observan otras características descriptivas de la especie.

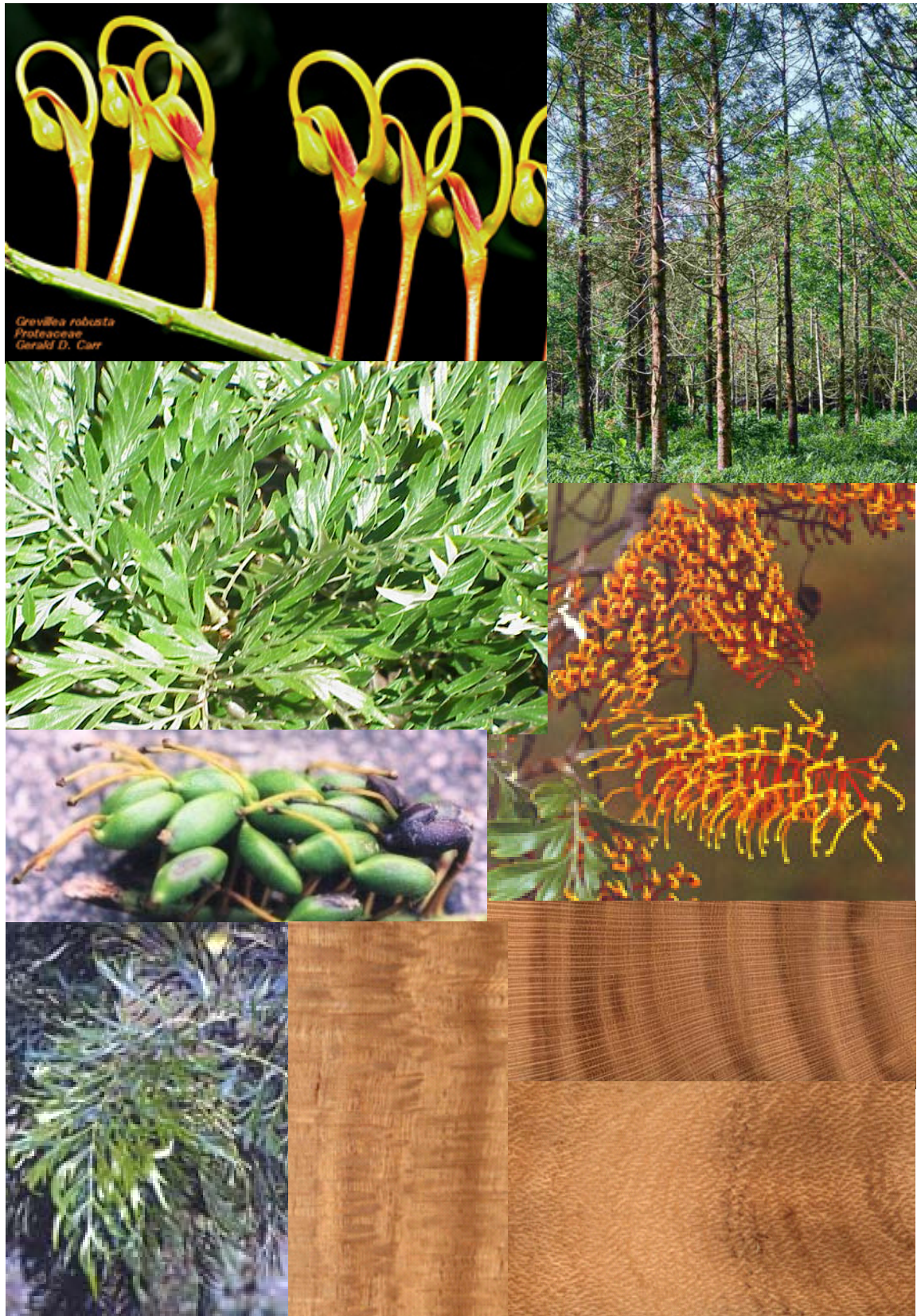


Foto nº 3. *Grevillea robusta*. Caracteres identificatorios de la especie.

#### **4.3.4 *Toona ciliata* - *Toona M. Roem. var. australis* - *Toona*, cedro australiano**

##### **Clase: Dicotiledóneas - Familia: Meliáceas**

*Toona ciliata* es originaria de Nueva Gales del Sur y Queensland (Australia).

La especie *Toona ciliata* M., fue introducida al País a partir del año 1969, con el objeto de reemplazar al Cedro Misionero (*Cedrela fissilis*), afectado por la larva de *Hypsiphyla grandella*, por el Ing. Agr. Magieri, H. R. con semillas provenientes de Australia y fueron implantadas en las Estaciones experimentales de Alem y Manuel Belgrano en la Provincia de Misiones.

La información disponible sobre el comportamiento de la especie en Misiones es escasa, circunscribiéndose el conocimiento disponible a experiencias realizadas en otras provincias.

Esta especie se desarrolla en un rango de temperaturas que va desde los 43° C hasta – 1° C, esta última es una limitante de la especie. En cuanto a las precipitaciones, es necesario para su desarrollo de 1200 a 3500 mm anuales. Es exigente en condiciones físico-químicas y contenido de nutrientes y materia orgánica en el suelo.

Su mayor limitante la constituyen las heladas; no se observaron daños o árboles enfermos por presencia de hongos perjudiciales para la especie (según estudio realizado en la Provincia de Corrientes, “Análisis de una plantación de *Toona ciliata*” por Dieringer et al, UNNE. 12 “Reunión de Comunicación Científica y Técnica”. Pág. 89. Año 2000).

Se describe una enfermedad que afecta al cedro australiano cultivado en la provincia de Misiones, cuya sintomatología se caracteriza por la presencia de engrosamientos o agallas en fuste y ramas. Las agallas se forman por

hiperplasia celular en sentido radial, provocando rajaduras verticales en la corteza y una coloración castaño-violácea en la parte afectada del leño, inutilizando la madera para la industria del debobinado y corte plano (faqueado). A partir de aislamiento del material afectado se determinó la presencia de *Fusarium decemcellulare* Brick al que mediante pruebas de patogenicidad se confirmó como agente causal de la enfermedad. (Vizcarra Sanches et al, 1992).

La incidencia de agallas en *Toona ciliata* es variable no llegando a la magnitud de justificar el abandono de su cultivo.

En un estudio de crecimiento de *Toona ciliata* en enriquecimiento de un monte nativo degradado en Puerto Rico, Misiones, se detectó presencia de agallas en tallo a partir del primer año de edad (tal lo mencionado con anterioridad por Vizcarra, J.). La incidencia de la enfermedad en años sucesivos fue baja, 4 individuos de 138 ejemplares, evaluándose el período 1998 a 2002. (Tolosa et al, 2003).

Foto nº 4: Se observan otras características descriptivas de la especie.





Foto nº 4. *Toona ciliata*. Caracteres identificatorios de la especie.

#### **4.3.5 *Bastardiopsis densiflora* (Hook et al) Hassl.- Loro blanco**

**Clase: Dicotiledóneas - Familia: Malváceas**

Originaria de Brasil, Argentina y Paraguay. En Nuestro país se encuentra en la Selva Misionera, (Boelcke, 1992).

En la Selva Misionera se presenta ocupando el estrato arbóreo superior y medio de la misma.

Es una especie pionera y colonizadora, forma bosques puros. Es de porte medio, hasta 25 metros de altura y diámetro de 0,80 metros. Árbol de fuste recto, cilíndrico a canaliculado en ejemplares de grandes dimensiones.

Su madera presenta un diseño vetado muy delicado, textura fina y homogénea, de grano derecho a levemente oblicuo, (Gartland y Bohren, 1990).

Loro blanco presenta una madera moderadamente dura y semipesada, su densidad básica es de 0,700 g/cm<sup>3</sup>, fácil de trabajar, es apta para carpintería, (Dimitri, 1977).

##### **Aspectos generales**

En cuanto a caracteres estéticos se puede mencionar que su madera presenta color blanco amarillento que se torna ocráceo a medida que transcurre el tiempo, en este caso se nota diferencia entre albura y duramen, pues la primera mantiene su color más claro. Tiene escaso vetado, aun cuando suele presentar vetado suave y muy atrayente por lo delicado, originado más por la coloración ligeramente más oscura del tejido fibroso que es liso, que por los elementos vasculares. Es madera de textura fina y homogénea y grano derecho a levemente oblicuo.

La madera es de porosidad difusa, siendo sus poros más visibles con ayuda de una lupa, con este elemento se ven los puntos blanquecinos



correspondientes a los poros y además líneas blanquecinas y sinuosas de los radios leñosos. En la cara longitudinal el carácter más importante es la disposición estratificada de los elementos que, sin embargo, para una mayor apreciabilidad, deben ser observados con lupa. Del mismo modo también se ve el recorrido de los vasos por la coloración amarillo más clara que presentan.

En cuanto a su descripción microscópica, presenta vasos dispuestos en la disposición conocida como porosidad difusa, pues aun cuando están distribuidos en mayor número en el leño temprano, no llegan a conformar el tipo definido como porosidad circular, son solitarios, múltiples radiales cortos, de 2 a 3 poros y en menor número agrupados. Son numerosos a muy numerosos pues se cuentan de 18 a 25 por  $\text{mm}^2$ , pequeños a medianos, diámetro medio tangencial 70 micrones, a máximo 140, y mínimo de 30 micrones. Los elementos vasculares son de trayecto rectilíneo, con perforaciones simples y tabiques horizontales a levemente oblicuos. Posee puntuaciones intervasculares alternas, pequeñas con areola de forma oblonga, poco visible y abertura interna lenticular inclusa. Son elementos dispuestos en estratos cortos.

Las fibras se disponen radialmente, son de sección circular, en el límite del anillo de crecimiento se hallan comprimidas tangencialmente. Sus fibras poseen numerosas puntuaciones simples, con pared delgada a mediana.

Sus radios leñosos son de trayecto levemente sinuoso, con puntuaciones bien visibles y en cambio tabiques poco notorios. Lineales, fusiformes u oblongos, numerosos, 7 a 9 por mm, dispuestos en forma estratificada, pero no regularmente. Son generalmente multi, uni, bi, y triseriados formados por células procumbentes y a veces envolventes.

De parénquima leñoso vasicéntrico angosto y escaso, con tendencia a aliforme; también hay parénquima difuso y terminal. Las células son de sección elíptica a redonda, en el parénquima terminal son mas bien de sección

cuadrada a rectangular, los anillos de crecimiento son poco demarcados, los contenidos celulares presentes son algunos cristales romboidales de oxalato en el tejido fibroso y también en las células radiales. (Tortorelli, L.; 1956. Madera y Bosques Argentinos).

Es una madera de muy buenos caracteres xilológicos y fácil de trabajar, por lo tanto útil para hacer chapas destinadas a decoración de muebles e interiores claros. También se la puede usar en madera maciza para igual fin. En la provincia de Misiones el uso que se le otorga es en carpintería en general y cajonería. Por ser una madera blanca es apropiada para la elaboración de pasta mecánica de papel en general y diarios en especial.

Foto nº 5: Se observan otras características descriptivas de la especie.



Fuente: Eibl, B.



Fuente: Grance, L.



Fuente: Eibl, B.



Fuente: Eibl, B.

Foto nº 5. *Bastardiopsis densiflora*. Caracteres identificatorios de la especie.

## **4.4 Estructura Anatómica de la madera**

La madera es un material biológico de origen vegetal, si se realiza un corte transversal en el tronco de un árbol, se observará que desde el exterior al interior está formado por las siguientes partes: corteza, cambium, albura, duramen y el centro llamado médula. Fuente: Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera. Año 1988.

### **4.4.1 Corteza**

La corteza es la cubierta protectora del árbol y puede variar de delgada a gruesa pero es siempre impermeable. La parte interior o parte joven de la corteza se conoce con el nombre de floema y es la porción de tejido encargada del transporte de agua y alimentos elaborados en las hojas. Cuando las células del floema pierden actividad, los tejidos mueren y pasan a formar parte de la corteza exterior.

### **4.4.2 Cambium**

El cambium es una capa microscópica constituida por células vivas y de paredes muy delgadas, que se interpone entre la corteza y la madera. A través del proceso de división celular, el cambium produce en mayor porción madera hacia la parte interna del árbol y en menor proporción corteza hacia la parte externa, aumentando así el diámetro del tronco.

### **4.4.3 Xilema**

Está constituido por la albura y el duramen; la albura es un conjunto de células vivas y el duramen un conjunto de células muertas o inactivas, que conforman un tejido complejo denominado *Xilema*, del griego “xilos”, que significa madera.

En la formación de la madera se distinguen células de origen temprano con paredes delgadas y color claro y células de origen tardío con paredes gruesas y color oscuro, que dan lugar a zonas de crecimiento diferenciadas denominadas *anillos de crecimiento*, éstos son más marcados en determinadas especies oriundas de territorios con climas templados.

Esta compleja organización estructural hace de la madera un material anisótropo, con propiedades diferentes en sus tres planos normales de corte (radial, longitudinal y tangencial), que la convierten en un elemento muy particular y con propiedades diferentes a otros materiales tradicionalmente utilizados en la construcción.

La mayoría de las diferencias entre albura y duramen son de naturaleza química, ocasionadas por la infiltración en el duramen de sustancias orgánicas como aceites, gomas, resinas, taninos, compuestos aromáticos y colorantes, convirtiéndolo en un tejido más duradero y de color generalmente más oscuro que la albura.

La proporción de albura y duramen es muy variable entre las distintas especies y aún entre árboles de la misma especie, su espesor depende en cada caso de la edad del árbol y de las características genéticas de la especie.

#### **4.5 El agua en la Madera**

Hablamos más bien de la humedad en la madera. En un árbol recién cortado, la madera contiene gran cantidad de agua, variando este contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal. Las maderas livianas, por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera la albura por estar formada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un contenido de humedad

mayor que el duramen. En otras palabras, el contenido de agua en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable.

La relación agua/madera está sujeta a la influencia de varios factores, entre ellos, la calidad de las fibras y el peso específico de la madera. Así, mientras el duramen no permite contenidos de humedad elevados, la albura por ser más liviana y porosa, puede acumular en agua valores superiores al 100% de su peso seco, incluso llegar hasta 200% en aquellas maderas muy livianas.

El contenido de agua en la madera se encuentra bajo diferentes formas: agua libre, agua de saturación y agua de constitución.

El agua libre es el que se encuentra ocupando las cavidades o lumen de los elementos vasculares, dándole a la madera la condición de verde.

La cantidad de agua libre en la madera depende del volumen de poros, al iniciarse el secado, el agua libre en los poros se va perdiendo fácilmente por evaporación ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, hasta la etapa en la que ya no contiene más agua de este tipo. En este momento la madera estará en lo que se denomina *punto de saturación de las fibras* (p. s. f.), que corresponde al contenido de humedad entre el 21% al 32%. (Seal, 1984).

Cuando la madera alcanza el punto de saturación de las fibras, sus paredes están totalmente saturadas, pero sus cavidades están vacías. Durante esta etapa de secado la madera no experimenta cambios dimensionales, ni alteraciones en sus propiedades mecánicas. Únicamente desde entonces, a partir del p. s. f. se producen modificaciones en las propiedades físico-mecánicas, eléctricas, de secado y tratabilidad de la madera, entre otras.

El agua de saturación o higroscópica es aquella que se encuentra en las paredes celulares, es llamada también agua de imbibición o agua absorbida.

Durante el secado de la madera, cuando ésta ha perdido su agua libre por evaporación y continua secándose, la eliminación de humedad ocurre con mayor lentitud, hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico con la humedad relativa de la atmósfera circundante. Para la mayoría de las especies el equilibrio higroscópico está entre 12 y 18 % de contenido de humedad, dependiendo básicamente del lugar donde se realice el secado. Para obtener un menor porcentaje de humedad debe acudir a secado artificial.

El agua de constitución es aquella que forma parte del material celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado, su eliminación implicaría la destrucción de la madera.

Fuente: Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera. Editado por el Proyecto de Promoción Industrial de la Madera para la Construcción, (Prid-Madera) Junta del Acuerdo de Cartajena. Año 1988.

## **4.6 Conceptos sobre durabilidad natural**

### **4.6.1 Introducción**

La durabilidad natural comprende aquellas características de resistencia que posee la madera sin tratamiento frente al ataque de hongos, insectos, perforadores marinos y otras influencias. Normalmente se mide como el tiempo en años durante el que una madera es capaz de mantener sus propiedades mecánicas estando puesta 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. Hay una gran cantidad de especies muy durables frente a la acción de hongos mientras que son menos las especies que lo son frente al ataque de termitas. Ante la acción de los hongos, hay maderas más durables frente a un tipo que a otro (basidiomycetes

o deuteromicetes). La durabilidad de la madera también se ve afectada por efecto del medioambiente.

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 micósica.

La gran variedad de factores que intervienen en la durabilidad de la madera no permite conocer con exactitud esta propiedad. Por eso, es necesario clasificarlos en grupos más o menos amplios de resistencia, tratando de establecer rangos que cada vez sean más precisos para asegurar así un mayor éxito en el uso de la madera.

La vida útil de la madera esta determinada, por una parte, por aspectos inherentes a su naturaleza y, por otra, por las condiciones especiales del servicio.

Con relación a los aspectos inherentes a su naturaleza, se puede afirmar que, generalmente, la madera de duramen es mucho más durable que la de albura, fenómeno que se atribuye a los cambios químicos que se producen durante la transformación de albura a duramen.

Asimismo, aquellas maderas densas y de color oscuro son usualmente más durables. Las maderas con altas densidades son menos porosas y por lo tanto cuentan con menos posibilidades de acceso de agua y de oxígeno. Las coloraciones oscuras corresponden a sustancias que reducen la absorción del agua o a extractos que pueden ser tóxicos para los hongos que degradan la madera.



La influencia de la densidad sobre la durabilidad natural es frecuentemente motivo de controversia, lo cierto es que la densidad de la albura no durable es invariablemente menor que la del duramen no durable.

En algunas especies se ha comprobado igualmente una relación entre la durabilidad y la velocidad de crecimiento, árboles con bajos valores de crecimiento han mostrado aumentos en la durabilidad de sus maderas.

Además de los factores inherentes a la madera por sí misma, la durabilidad depende también de las condiciones de utilización. Así, por ejemplo, la madera será más susceptible a ser atacada en condiciones cálidas y húmedas que en climas fríos y secos, por otro lado, la probabilidad de ataque será mayor si ésta se encuentra en contacto directo con el suelo.

Como se ha mencionado anteriormente, ciertas especies forestales tienen buena durabilidad natural debido a la presencia de compuestos tóxicos para los hongos. Estos compuestos se encuentran en la madera en cantidades relativamente pequeñas.

Los fenoles constituyen una amplia gama de compuestos, tales como antoxantinas, antocianinas, ácidos hidroxibenzóicos, glucósidos y otros, que hasta hace poco se llamaban "Taninos" y que actualmente se reciben el nombre de "Polifenoles". Los polifenoles son compuestos que tienen más de un grupo oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ) en su anillo benzoico, cuando tienen uno solo se llaman fenoles, pero estos son muy raros en la naturaleza y no se dan en las plantas.

Entre los principales polifenoles tóxicos para hongos e insectos, y que son por lo tanto considerados como preservadores naturales de la madera, se encuentran el ácido shiquímico, el ácido cinámico y el ácido cafeico.

La naturaleza y cantidad de los extractivos del tejido leñoso son muy variables entre las especies durables. Algunas veces, la durabilidad es debida a la toxicidad para los hongos de los compuestos que se solubilizan en el alcohol-benceno, otras en cambio se deben a los solubles en agua caliente.

La durabilidad natural de las maderas se clasifica, en el caso de deterioro producido por hongos, en cinco clases, las mismas son descriptas en tabla nº 1.

**Tabla nº 1. Clasificación de la durabilidad natural**

<b>Clase de durabilidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Duración en años</b>
<b>1</b>	Muy durable	Más de 20 años
<b>2</b>	Durable	15 a 20 años
<b>3</b>	Moderadamente durable	15 a 10 años
<b>4</b>	Poco durable	5 a 10 años
<b>5</b>	No durable	Menos de 5 años

En síntesis, durabilidad natural es el comportamiento que acusan las maderas con respecto a la acción biológica de agentes destructores tales como hongos, insectos, entre otros.

#### **4.6.2 Características organolépticas**

Incluyen aspectos que aportan propiedades estéticas (color, vetado), limitaciones de uso (olor desagradable), o que afectan a los procesos industriales (textura, grano), ya sea facilitándolos o creando problemas sobre los elementos cortantes y de laboreo.

### **4.6.3 Características químicas**

Incluyen la evaluación de la presencia de sustancias extractivas (cristales, aceites esenciales, taninos, resinas, goma, entre otros), que pueden afectar el comportamiento de las maderas en los procesos de maquinado, terminación, impregnación y uso. También comprende el grado de combustibilidad que acusarán las maderas, en función de la existencia de sustancias que puedan retardar o favorecer la acción del fuego.

### **4.6.4 Propiedades físicas**

Comprenden las diferentes características derivadas de la estructura leñosa, como ser el porcentual de celulosa, disposición de los elementos vasculares y contenido de agua. Los indicadores habituales son: el peso específico (que nos permite estimar dureza), porosidad (comportamiento a los esfuerzos mecánicos y probables condiciones de trabajabilidad), los índices de contracción y retractibilidad (indican la actitud frente al secado) y el grado de penetrabilidad de los líquidos (en vista a la posibilidad de impregnación para mejorar la durabilidad)

### **4.6.5 Propiedades mecánicas**

Implican el conocimiento del módulo de rotura, elasticidad a los esfuerzos de flexión y compresión, dureza y desgaste de la madera.

### **4.6.6 Estabilidad dimensional**

Su conocimiento permite determinar el comportamiento de las diferentes especies frente a los cambios de humedad del medio al que se hallan expuestas.

#### 4.6.7 Condiciones de trabajabilidad

La facilidad de laboreo de la madera está influida por su densidad, orientación del grano, textura, presencia de cristales y humedad.

#### 4.7 Propiedades conocidas de las maderas estudiadas

Mediante el correcto conocimiento de las características tecnológicas de las especies madereras, puede determinarse la aptitud de las mismas para adaptarse a los diferentes usos.

##### 4.7.1 Propiedades Físicas

Las propiedades físicas conocidas de las maderas consideradas se visualizan en tabla nº 2.

**Tabla nº 2. Propiedades físicas de Kiri, Paraíso y Cedro australiano**

PROPIEDADES FÍSICAS					
ESPECIE:	P. E. (12%)	Contracción total (%)			Relación T/R
		Radial	Tangencial	Volumétrica	
<i>Pawlonia tomentosa</i> *	0.270	1.6	4.5	6.5	2.80
<i>Melia azedarach</i> *	0.600	5.4	6.8	13.15	1.26
<i>Toona ciliata</i> **	0.422	4.1	7.8	12.6	1.91

\*Resultados de ensayos inéditos realizados en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional de Misiones

\*\*Datos extraídos del Aporte del Sector Forestal a la Construcción de Viviendas. Folleto N° 44.

Según la clasificación de las maderas argentinas secas al aire, basado en valores de los pesos específicos aparentes, de acuerdo a la propuesta de (García y García, 1956), *Toona ciliata* pertenecería a las especies livianas,

debido a que su peso específico es de 0,422; según la tabla del libro Propiedades físicas y mecánicas de la madera, parte 1 (1994, 64).

Asimismo según la relación T/R (anisotropía de la contracción), puede considerarse a la madera de *Toona ciliata* como normal ya que presenta un valor de 1,9; aunque puede presentar serios problemas de alabeos cuando existan variaciones en el contenido de humedad de la misma.

#### 4.7.2 Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas conocidas de las maderas bajo estudio son presentadas en tabla nº 3.

**Tabla nº 3. Propiedades mecánicas de Kiri, Paraíso y Cedro australiano**

PROPIEDADES MECÁNICAS										
ESPECIE	Flexión estática			Compresión paralela		Dureza (Kg/cm <sup>2</sup> )			Corte paralelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	$\sigma_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	R L/F	$\sigma_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_e$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Rd.	Tg.	Tr.	Tg.	Rd.
<i>Pawlonia tomentosa</i> *	257	25262	--	170	16166	120	145	260	152	126
<i>Melia azedarach</i> *	853	72505	--	361	24758	397	415	570	163	131
<i>Toona ciliata</i> **	468	65118	40	265	24503	177	139	236	104	96

Donde:  $\sigma_r$  es el módulo de rotura,  $\sigma_e$  el módulo de elasticidad y R la rigidez.

\*Resultados de ensayos inéditos realizados en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales – Univ. Nacional de Misiones.

\*\*Datos extraídos del Aporte del Sector Forestal a la Construcción de Viviendas. Folleto N° 44.

En cuanto al comportamiento de la madera ante los diferentes ensayos mecánicos, nos indica que Toona no es una madera muy resistente, superando únicamente al Kiri, y en algunos casos aproximándose al *Pinus taeda*. Esta especie presenta valores de dureza bajos respecto a las demás especies, siendo los de corte paralelo a las fibras similares.

Podemos agregar que los ensayos fueron realizados con madera de árboles jóvenes, aproximadamente 10 años, las cuales presentaban un crecimiento muy rápido debido a las condiciones favorables presentes en la zona.

El cedro australiano, con esta edad y crecimiento, no posee características superiores a las especies que actualmente están siendo comercializadas en mayor escala en el mercado, aunque algunos valores obtenidos pueden ser semejantes a los de otras especies, en base a esto se puede decir que el cedro australiano puede sustituir a otras especies.

#### **4.8 Protección natural de la madera**

En los últimos meses de otoño, coincidiendo con la caída de las hojas, cuando llega la época de hibernación, la circulación de sabia se minimiza al máximo, hasta el extremo de ser casi nula, es el momento óptimo para talar los árboles para su posterior empleo en estructuras, cerramientos, ventanas, puertas, entarimados, parquet, etc.

El ciclo de tala mencionado es aplicable tanto para árboles de hojas caducas, como a los de hoja perenne. Esto no puede ser aplicado taxativamente y la explicación es la siguiente; las estaciones ya no se dan en todos los continentes de la misma forma, los inviernos son más suaves y las temperaturas no corresponden a las estaciones correspondientes, ya que a la

planta le puede sorprender una alta temperatura y la vitalidad de la misma puede comenzar.

Cuando más savia tenga la madera, más nutrientes tendrá y por lo tanto será mas propensa al ataque de hongos xilófagos, ya que encuentran el medio ideal para alimentarse y reproducirse.

Cuando más humedad tenga y menos aireada esté será más propensa al ataque de los hongos que, en cuestión de semanas y a veces de días, infectan a la madera, esta madera va perdiendo resistencia mecánica, y a veces resulta inutilizada por completo.

Según datos obtenidos por estudios realizados, la madera que contenga menos de 18 % de humedad no es atacada por los hongos xilófagos (salvo la carcoma grande). Actualmente se está poniendo en práctica el que la madera recién aserrada sea sometida a un tratamiento térmico introduciéndola en una caldera con calor y sin oxígeno, haciendo que de esta manera la madera libere los nutrientes, secándolas en condiciones adecuadas, se evitan los problemas creados por el sistema clásico, se eliminan las tensiones externas e internas de la madera provocadas por el secado irregular, logrando la estabilidad, durabilidad y protección natural de la madera, arribándose hasta el momento a resultados mejores que con el secado al vapor.

En épocas pasadas los troncos eran transportados por río, este hecho favorecía sobre todo a los troncos frondosos, por que la corriente arrastraba a través de los vasos comunicantes los nutrientes del tronco, el mismo efecto se consigue colocando la madera en estanques con agua más bien pura.

En síntesis, la madera talada observando el ciclo adecuado favorece la durabilidad natural de la misma, y mucho más aún, si el tronco permanecerá unos cuantos meses en el bosque, debe asegurarse un correcto apilado, de tal

manera que la madera esté bien aireada permitiendo que el viento y el calor del sol (preferentemente exposición no directa) vayan secándolo naturalmente.

## **4.9 Hongos**

### **4.9.1 Características generales**

Los hongos son formas inferiores de plantas que viven en forma saprófita o parásita por su incapacidad de producir por si solos sus alimentos. La característica más importante de este grupo de destructores de la madera es que crecen a partir de micelios y se reproducen a partir de esporas.

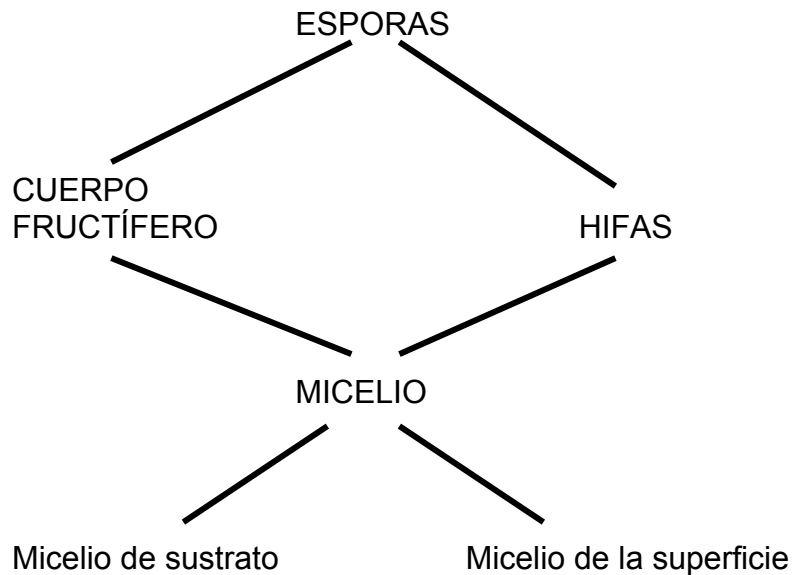
La constitución de los hongos es bastante simple. El cuerpo fructífero se compone de células individuales llamadas hifas que en conjunto forman el micelio. Las hifas son células muy finas, con un diámetro de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$  y visibles únicamente bajo el microscopio. Tiene muchas ramificaciones y paredes transversales y sus paredes celulares contienen quitina, una sustancia de alta resistencia.

El micelio, a través de la secreción de enzimas, suministra el alimento a los hongos. Estas enzimas desintegran, según la especie del hongo, el contenido de las células o las paredes celulares, lignina o celulosa de la madera.

Las hifas y el micelio son los verdaderos destructores de la madera.



### 4.9.2 Ciclo de desarrollo de los hongos



El cuerpo fructífero o parte visible de los hongos, compuesto por un tejido densificado de hifas, toma forma, tamaño y color característico para cada especie, razón por la cual a través de él se puede llegar a su identificación taxonómica.

Las esporas son las responsables de la propagación de los hongos. Se producen dentro los cuerpos fructíferos de los hongos y dan lugar a la separación de los principales grupos agaricales si se producen en láminas o agallas y poliporales si se producen en tubos o poros.

Para la germinación de las esporas se necesita un sustrato (madera) y condiciones climáticas adecuadas: temperatura, humedad y aire. Una vez germinada la espora, crece una hifa que dará lugar al micelio. Al alcanzar el micelio un tamaño adecuado, se desarrollan los cuerpos fructíferos con el tejido formador de las esporas.

Las esporas se producen en grandes cantidades por minuto y representan un grave peligro para la madera si las condiciones ambientales así lo permiten.

Los hongos pudridores de la madera pueden ser agrupados en dos categorías según la forma en la cual pudren a la madera. Estos dos grupos son denominados hongos de pudrición blanca y hongos de pudrición castaña.

### **4.9.3 Acción sobre los Constituyentes de la Pared Celular**

La madera está constituida principalmente por tres componentes, lignina, celulosa y hemicelulosas. La madera de coníferas en general tiene un mayor contenido de lignina entre un 27 a 35 % que la madera de angiospermas dicotiledóneas o maderas duras que poseen entre un 19 a 24 %.

#### **4.9.3.1 Celulosa**

La celulosa es un polímero lineal de moléculas de glucosa unidas por enlaces  $\beta$  1-4 glucosídicos. Este polímero es de alto peso molecular y de estructura cristalina.

La celulosa constituye el esqueleto de las paredes celulares, se presenta a modo de fibras que se organizan en microfibrillas y éstas a su vez se empaquetan formando las macrofibrillas. Las microfibrillas están constituidas por moléculas de celulosa, en ellas se diferencian las micelas que conforman una zona de celulosa cristalina y otra zona de celulosa paracristalina o amorfa.

La despolimerización de la celulosa o celulolisis se produce por la acción enzimática (celulasas), las tres más importantes son las endogluconasas, las exoglucanasas o celobiohidrolasas y las glucosidasas, éstas actúan

sinérgicamente. Según estudios realizados por Wright en el año 1987, existen otras enzimas que realizan la actividad enzimática auxiliar.

En los hongos de pudrición castaña, al no producir la enzima exoglucanasa, el ataque en primer lugar resulta de la asociación entre el peróxido de hidrógeno producido por los hongos y extracelular junto al hierro presente en la madera en forma de  $Fe^{+++}$ . Este hierro para interactuar con el peróxido es reducido por el ácido oxálico también producido por los hongos y de carácter extracelular. De este modo el agua oxigenada y el  $Fe^{++}$ , constituye el primer paso de la despolimerización.

#### **4.9.3.2 Lignina**

La lignina es un polímero aromático complejo de alto peso molecular, amorfo, tridimensional, insoluble en agua y formado por unidades de fenil propano.

La polimerización comienza a partir de la oxidación de los precursores primarios: coniferil alcohol, cumaril alcohol y sinapil alcohol, unidos por carbono-carbono y aril-éter.

La polimerización de la lignina se lleva a cabo luego de la deposición de los polisacáridos y se inicia por oxidación enzimática de los precursores fenoxi radicales.

En función del precursor que predomina en la formación de la lignina tendremos el tipo guayacil lignina, que surge por mayor concentración del precursor coniferil alcohol y se encuentra en las Gimnospermas y en algunos tipos celulares de Angiospermas. Si el precursor que predomina es el sinapil alcohol, tendremos siringil lignina, frecuente en Angiospermas.

La laminilla media y los ángulos celulares contienen la mayor concentración de lignina.

La lignina es altamente resistente a la degradación y hasta el momento los únicos organismos capaces de transformarla eficientemente, llevándola a dióxido de carbono y agua, son los hongos de pudrición blanca.

La despolimerización es vía enzimática. Las enzimas más importantes son: lignin peroxidasa, manganeso oxidasa y lacasa, además existe una actividad enzimática auxiliar.

Evidencias químicas y fisiológicas demuestran la degradación de la lignina como su biosíntesis, predominantemente oxidativa, aunque también puedan participar reacciones de reducción.

Los hongos lignolíticos son capaces de quebrar el balance entre polimerización y despolimerización a favor de la fragmentación, por causa de la remoción de estos fragmentos de bajo peso molecular de las mezclas de reacción por glicosilación o metilación.

Fuente: Keil, Gabriel Darío. Tesis, "Determinación de la Durabilidad Adquirida a Través de Métodos de Degradación Acelerada en Madera Endurecida de Álamo (*Populus deltoides* C.V Stoneville 66)". Año 2002.

#### **4.9.3.3 Hemicelulosa:**

Las hemicelulasas son heteropolímeros, constituidos por distintos tipos de azúcares y ácidos orgánicos. Se caracterizan por su solubilidad y bajo peso molecular, quizás por eso son despolimerizadas por endoenzimas.

De los tres componentes celulares, la hemicelulosa es la primera en ser atacada por los hongos causantes de la pudrición por poseer cadenas más bien cortas, debido a la solubilidad y a la localización expuesta alrededor de las microfibrillas de celulosa.

Las enzimas encargadas de la despolimerización son las hemicelulasas. Las mismas se producen casi inmediatamente en los procesos de pudrición y están asociadas con la degradación de las ligninas.

En primer lugar estas enzimas destruyen las hemicelulasas en la pared celular adyacente al lumen y se introducen paulatinamente en la pared secundaria abriendo canales para permitir el acceso de las enzimas que luego degradarán la lignina de mayor peso molecular.

Las hemicelulasas también proveen de alimento a los hongos ya que la lignina por sí sola no puede ser utilizada como sustrato para el crecimiento del hongo. La degradación de hemicelulosa está acompañada siempre por la remoción de lignina.

El patrón de ataque es similar al de la degradación de la celulosa, provocadas por celulasas, sin embargo las exoenzimas están ausentes, podemos deducir a partir de esto, la poca polimerización de las hemicelulasas.

Las hemicelulasas son heteropolímeros constituidos por distintos tipos de azúcar, cadenas laterales y grupos sustituyentes.

La hemicelulosa más común es el xilano, por eso nos referimos a las xilanasas como las enzimas responsables del proceso de despolimerización. Los xilanos están constituidos por xilosa, azúcar simple de cinco carbonos unidos por enlaces glicosídicos. Las enzimas que intervienen son las xilasas y xilosidasas.

Los hongos de pudrición castaña remueven selectivamente celulosa y hemicelulosa de la madera. La madera podrida por hongos de pudrición castaña pierde rápidamente sus propiedades de solidez y experimentan roturas drásticas. En estados avanzados la madera es reducida a un residuo de trozos amorfos, blandos, castaños, cúbicos, compuestos mayormente de lignina ligeramente modificada.

Los hongos de pudrición blanca tienen un sistema de enzimas celulosa y lignasa que le permiten degradar todos los componentes de las paredes celulares de la madera. Algunos, sin embargo, remueven lignina más rápidamente. La mayoría de ellos aparentemente remueven la lignina y polisacáridos casi al mismo tiempo, y la madera en estado intermedio o avanzado de pudrición contiene casi iguales proporciones de estos componentes que la madera sana. La madera podrida por hongos de pudrición blanca tiende a perder gradualmente sus propiedades de solidez y retiene su estructura fibrosa aún en estados avanzados. La madera podrida se vuelve esponjosa, filamentosa, o laminada y usualmente está manchada y descolorida con relación a la madera sana.

Los hongos de pudrición blanca producen fenol-oxidasas extracelulares y generalmente dan positivo en los ensayos de oxidasas sobre medios con ácido gálico o tánico, en cambio los hongos de pudrición castaña no producen fenol-oxidasas extracelulares y generalmente dan negativos los mismos ensayos.

Los hongos de pudrición blanca eventualmente pudren la madera completamente y los residuos no son componentes estables de los suelos forestales, en contraposición, los residuos de la pudrición castaña son extremadamente estables y son importantes componentes orgánicos en los suelos forestales.

#### **4.9.4 Factores que influyen en el desarrollo de los hongos en la madera**

##### **4.9.4.1 Humedad**

El contenido de humedad en la madera, que favorece el deterioro causado por estos organismos, está entre el 30% y el 50% por encima del punto de saturación de las fibras (p. s. f.).

##### **4.9.4.2 Temperatura**

La temperatura óptima de desarrollo de los hongos oscila entre los 20 y 30 °C, la actividad es prácticamente nula por debajo de los 4 °C y superior a los 40 °C.

##### **4.9.4.3 Oxígeno**

El oxígeno es un elemento fundamental para el desarrollo de los hongos, el porcentaje debe ser siempre mayor al 20% de volumen de oxígeno por volumen de madera.

#### **4.9.5 Efectos de la pudrición sobre las propiedades de la madera**

La alteración de las características físicas y químicas de la madera atacada está relacionada con la intensidad de la pudrición y los efectos específicos de las especies de hongos que actúan.

1. El color normal de la madera se modifica, adquiriendo la misma determinados colores característicos a la madera atacada.
2. La resistencia a la flexión, tracción, compresión y la densidad se reducen. La susceptibilidad de la madera aumenta por lo tanto las reacciones por el proceso de secado, como así también varían las propiedades de conducción de la electricidad y térmica.
3. La madera atacada adquiere ablandamiento y fragilidad por lo que tiende a romperse bajo la acción mecánica.

#### **4.9.6 Hongos xilófagos. Breve descripción. Acción**

Los hongos juegan un papel importante en los cambios constantes que se llevan a cabo en la naturaleza. Específicamente, son los agentes responsables, en gran parte, de la desintegración de la materia orgánica y, como tales, algunos de ellos afectan la madera lo que les ha merecido el nombre de hongos xilófagos.

Los Basidiomicetes son el grupo más importante de hongos, puesto que incluyen el mayor número de especies capaces de causar deterioro en la madera.

La característica más sobresaliente que diferencia a estos hongos de otros, es la producción de esporas en estructuras especializadas, llamadas



Basidios, que se encuentran típicamente dispuestas en estratos definidos del micelio llamado también himenio. El micelio está formado por hifas septadas y bien desarrolladas, que penetran al sustrato y absorben el alimento.

Dentro de los basidiomicetes mas dañinos para la madera se ubican las familias *Agaricaceae* y *Polyporaceae*, cuya diferencia más marcada está dada, en la primera por el cuerpo fructífero que es laminar, de consistencia suave; son conocidos como hongos de sombrero o setas, de himenio con láminas o agallas pocas veces separadas; mientras la segunda posee cuerpo fructífero en estratos, de consistencia generalmente dura o coriácea, son conocidos como hongos en repisa o casco de caballo, de himenio con poros o tubos, algunas veces en forma laminar.

Los hongos al desarrollar sus hifas y formar el micelio, penetran en la madera y casi siempre permanecen ocultos en ella, aunque algunas especies, en cierta época de su vida, se ven en la necesidad de hacerse visibles para fructificar. En consecuencia, la pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas incipientes, y cuando es posible detectarla por cambios de color en la madera o por manifestaciones miceliales de los cuerpos fructíferos, la pudrición ya se ha generalizado.

En estado avanzado de pudrición la madera pierde peso y presenta poca consistencia, a tal punto que se puede partir y desmenuzarse bajo la menor presión ejercida con los dedos de la mano. En esta etapa los hongos ya han formado su cuerpo fructífero para completar su ciclo biológico.

La formación de los cuerpos fructíferos en una madera, es una señal inequívoca de la existencia de una pudrición. La remoción de esta parte del hongo, no obstaculiza en absoluto el proceso de degradación; consecuentemente, la madera que se encuentra en estas condiciones tiene restricciones de uso.

Existe un tipo de pudrición denominada seca, término que está mal utilizado ya que la madera está húmeda, por lo menos en la zona colonizada por el hongo. Este, al desarrollar sus micelios, los puede llevar a grandes distancias, desde donde es capaz de transportar el agua que le hace falta para su desarrollo.

De acuerdo a lo mencionado, la madera está compuesta por dos sustancias fundamentales, que son la lignina y la celulosa. Cuando los hongos destruyen la lignina, producen *pudrición blanca* y cuando destruyen la celulosa, producen *pudrición parda* y *marrón*. Cuando existe una alteración simultánea de ambas sustancias, tiene lugar la *pudrición mixta o blanda*.

En la pudrición blanca, la madera se vuelve fibrosa y se parte con facilidad, mostrando aristas angulosas en la zona de fractura. En cambio en la pudrición parda la madera se desmenuza y resquebraja en sentido transversal a la fibra y por esto también se la llama pudrición cúbica o rómbica. En ambos casos la madera pierde peso. En el laboratorio, el grado de pudrición de la madera se mide por la pérdida de peso que experimenta la pieza ensayada. Se estima que en una pérdida de peso de alrededor de 4% en una probeta de madera, esta queda afectada en su resistencia físico-mecánica en un 28%, sin embargo, en la práctica, una pudrición tan pequeña no es fácil de reconocer y al no ser detectada puede dar a lugar a fracasos en el uso de la madera.

Un apropiado tratamiento de protección por diseño, o preservador, excluye, de antemano, el acceso de los hongos, o impide su desarrollo si ya estuvieran instalados en la madera, prolongando así su vida útil.

Las especies de hongos de pudrición castaña son relativamente pocas cuando son comparadas con las numerosas especies de hongos de pudrición blanca. Los más comúnmente hallados son los hongos que presentan un cuerpo fructífero relativamente duradero de entre uno a dos años, de

consistencia leñosa, en ciertos casos el más coleccionado es *Pycnoporus sanguineus*, especie cosmopolita muy llamativa por su color anaranjado rojizo. Algunas especies del género *Ganoderma* pueden encontrarse sobre troncos en forma de repisa o en el suelo, como un hongo de sombrero, semileñoso, con superficies contrastantes, castaño opaco o laqueado en la parte superior y blanca a amarillenta en la inferior. (Dra.: González, Ana María. Instituto de Botánica del Nordeste, Corrientes).

Las especies de *Pleurotus* toman de la degradación del complejo lignina-celulosa sus materiales nutritivos, por lo que crecen sobre madera o productos relacionados con los mismos. Este hongo no necesita la degradación previa del substrato, ya que prepara el substrato para otros. De tal manera vemos como primeramente aparecen determinados hongos para luego ir desarrollándose nuevas especies a medida que se va produciendo la degradación y se va cambiando el pH de alcalino a ácido.

*Pleurotus* y *Lentinus* son los que provocan la pudrición blanca ya que poseen enzimas capaces de metabolizar totalmente la lignina y por eso son llamadas especies “lignocelulolíticas”. Los hongos de pudrición castaña no modifican totalmente la estructura de la lignina, pero sí liberan la celulosa y la hemicelulosa que lo aprovechan. La especie *Pleurotus* tiene la capacidad de degradar muchos substratos. La humedad óptima para *Pleurotus* está entre 70 a 80 %, si supera los 80% ya no se desarrolla, por encontrarse en un medio anaerobio provocado por el exceso de humedad, el pH óptimo es de 5,5 a 6,5, modificando sensiblemente este parámetro ya no se desarrolla.

Los daños por hongos pueden originarse incluso cuando el árbol está en pie. Los altos contenidos de humedad en los tejidos de la albura de árboles vivos generalmente los previenen de ataques por hongos e insectos, pero cuando el árbol se corta y comienza el proceso de pérdida de humedad, se convierte en fuente alimenticia para muchos organismos. Las esporas de los

hongos que circundan el medio encuentran el sustrato apropiado para su germinación y posterior penetración en el tejido leñoso. Las preferencias alimenticias de los hongos son muy variadas, mientras unos desintegran las paredes celulares causando pudriciones, otros se alimentan de azúcares y almidones que forman parte del contenido celular y originan cambios de coloración en la madera.

#### **4.9.7 Tipos de pudriciones. Breve síntesis de las mismas**

Las pudriciones se clasifican principalmente en función al color característico que le confieren a la madera atacada. Se consideran de este modo las pudriciones blancas y las pardas.

##### **4.9.7.1 Pudrición Blanca**

Como ya se ha mencionado las pudriciones blancas basan su acción en la destrucción más de la lignina que de la celulosa, quedando un resto de celulosa pura de color blanquecino, disminuyendo en consecuencia la densidad del leño y aumentando el contenido de humedad en las zonas afectadas.

Dentro de este tipo de pudrición podemos distinguir a dos patrones básicos de degradación, simultánea y selectiva.

La *degradación simultánea* implica una disminución de todos los componentes de la pared celular y puede ser observado por la presencia de agujeros y senderos de erosión en la región próxima a la hifa. La zona de descomposición comienza en la pared celular cercana al lumen celular y se extiende progresivamente hacia la laminilla media, provocando un adelgazamiento notorio en la pared celular. Este tipo de degradación se observa en la deslignificación de la pared secundaria y de la laminilla media aunque no se observa ataque del mismo tenor sobre la celulosa.

La *degradación selectiva* se caracteriza por la remoción únicamente de lignina y hemicelulosa sin una disminución importante de la celulosa, que se conserva en forma de microfibrillas.

Fuente: Buswell, J. A. "Fungal Degradation of Lignin" In Handbook of Applied Mycology. Vol 1: Soil and Plants. 425-480. Marcel Dekker Inc. (1990)

#### **4.9.7.2 Pudrición Castaña**

Como se ha indicado previamente, los hongos de pudrición castaña degradan preferentemente a la celulosa y la hemicelulosa de la pared celular; limitándose a degradar los estratos S1 y S2 de la pared secundaria, que son los menos lignificados. La laminilla media es altamente lignificada y por lo tanto resistente.

#### **4.9.7.3 Pudrición Blanda**

La condición para que se lleve a cabo este tipo de pudrición es que la madera esté sumergida en el agua o en ambientes muy húmedos sin ningún tratamiento de preservación. Los hongos que la producen por lo general actúan en forma simultánea. (Deschamps, J. & Wright, J. 1997).

Se diferencian dos tipos de pudriciones blandas, denominadas Tipo 1 y Tipo 2 respectivamente. La primera produce cavidades cilíndricas en la pared secundaria y en la segunda esta pared es degradada por completo. La laminilla media queda intacta y puede estar en este estado aún cuando la degradación esté muy avanzada, es esto lo que la diferencia de la pudrición blanca simultánea, porque la laminilla media en este tipo de pudriciones queda totalmente destruida. La pudrición Tipo 1 es común en las coníferas y la del Tipo 2 en latifoliadas.

#### 4.9.7.4 Comparación entre características de las pudriciones blanca y parda en la madera

Las principales diferencias son presentadas en la tabla nº 4.

**Tabla nº 4. Diferenciación entre tipos de pudriciones de la madera**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>PUDRICIÓN BLANCA</b>	<b>PUDRICIÓN PARDA / MARRÓN</b>
<b>Color</b>	Apariencia blanquecina	Marrón rojizo o negro
<b>Compuestos removidos</b>	Lignina	Celulosa
<b>Contracción</b>	Más o menos normal	Anormalmente alta, sobre todo longitudinal.
<b>Resistencia estática</b>	Se reduce sólo hasta cierto grado	Se reduce enormemente
<b>Tenacidad</b>	Se reduce rápidamente en las etapas iniciales	Se reduce aún en las etapas iniciales
<b>Grado de polimerización</b>	Disminución gradual	Disminución rápida
<b>Rendimiento de pulpa</b>	Similar a la madera sana	Bajo
<b>Calidad de fibra</b>	Comparable a la de madera sana	Pobre
<b>Sustrato de madera</b>	Latifoliadas	Coníferas

## 4.10 Descripción general de las especies de hongos ensayadas

### 4.10.1 *Ganoderma applanatum*

#### **Clasificación: Basidiomicetes**

#### **Descripción**

Carpóforo de 10 hasta 60 cm, en forma de mesa aplanada, ocasionalmente en forma de zócalo, a menudo imbricado, en ocasiones al principio de color blanco, siendo muy rápidamente cubierto por una corteza lisa amarillenta que luego se torna pardo rojiza, lacada, lisa o pulverulenta, más o menos débil frente a las presiones, la zona marginal de color blanco puro en ejemplares jóvenes, se vuelve amarillento y más tarde pardo.

Túbulos color herrumbre, estratificados, de 1-4 cm, poros blancos que oscurecen al tacto, pequeños, redondos o irregulares. Carne parda más o menos oscura, con zonas blanquecinas, con fieltros, dura y provista de túbulos estratificados. Esporas de color pardo herrumbre, lisa o ligeras y finalmente verrugosas.

Es una especie leñosa no comestible, siendo parásita de muchos árboles en los que provoca una podredumbre blanca muy activa y cuando la planta muere es saprofita. Aparece en todas las épocas del año.

Causa en árboles en pie una pudrición corrosiva y lo que se denomina corazón rojo y en las maderas aserradas el pasmo.

*Ganoderma applanatum*. Ver foto nº 6.



Foto nº 6. *Ganoderma applanatum*.



#### **4.10.2 *Laetiporus sulphureus***

##### **Clasificación Basidiomicetes**

##### **Descripción**

Se reduce a un sombrero de forma semicircular que puede alcanzar los 30 cm de diámetro y un peso de hasta 20 kg, la cutícula es primeramente amarilla, tomando con posterioridad una tonalidad rosa anaranjada. Se halla generalmente deformada por protuberancias, surcada de arrugas, y el margen ondulado se presenta muy lobulado. La cara inferior revela una multitud de tubos cortos, amarillos, que se decoloran con la edad. Su carne, de un blanco cetrino, primero blanda y jugosa, luego tiende a endurecerse y a quebrarse, con olor agradable y sabor algo ácido primero y más tarde amargo.

Vive como parásito en troncos de árboles (frondosas), vivos o muertos, también sobre frutales, siendo muy raro el que se desarrolle sobre coníferas, puede ser encontrado desde primavera a otoño.

Es comestible solamente en su zona periférica y cuando el ejemplar es muy joven.

Produce una pudrición destructiva de tipo prismático con láminas de micelio intercaladas.

*Laetiporus sulphureus*. Ver foto nº 7.



Foto nº 7. *Laetiporus sulphureus*.

### 4.10.3 *Pycnoporus sanguineus*

**Sinónimos:** *Polyporus sanguineus* L. ex Fr, *Trametes sanguineus* (L. ex Fr.).

**Nombre vulgar:** oreja de palo, oreja de palo colorado.

#### **Descripción**

Carpóforo correoso, de 20 a 60 cm de diámetro, de una vistosa fructificación semicircular dispuesta en repisa, color rojo anaranjado, con superficie lisa a ligeramente marcada en zonas concéntricas. De esporas blancas.

Carne o trama anaranjado-amarillenta, primero más clara y esponjosa, pasando luego a suberosa; con olor y sabor inapreciables

Habita sobre troncos, ramas, tocones, empalizadas de maderas frondosas, pudiendo hacerlo también sobre coníferas.

Como hongo saprofito no ataca árboles vivos sino madera muerta siendo su estructura miceliar, en el interior de la misma, de color rojo.

Su recolección es más importante en las épocas del año donde las temperaturas son elevadas (verano). En la cultura japonesa es utilizado el hongo molido y en infusión contra granos, verrugas, disentería y para desinflamar los pies.

*Pycnoporus sanguineus*. Ver foto nº 8.





Foto nº 8. *Pycnoporus sanguineus*.

#### **4.11 Requerimientos en maderas para la construcción de viviendas**

El empleo de la madera en la vivienda asume características particulares, ya que los volúmenes y tipos utilizados, así como los de sus manufacturas, dependen de las propiedades de las especies seleccionadas y de los sistemas constructivos y modelos habitacionales proyectados.

Como todo material de construcción, la madera presenta ventajas e inconvenientes frente a las exigencias de trabajo en las condiciones de uso.

Las características positivas que acusa la madera son:

- Tratarse de un material renovable; obtenible en volumen, calidad y lugar, a voluntad del hombre.
- Es relativamente liviana, lo que permite manejarla y transportarla sin grandes esfuerzos.
- Puede trabajarse fácilmente, dándosele la forma requerida, sin necesidad de equipos complicados.
- Permite la preparación de estructuras mediante el empleo de clavos y tornillos, empleando herramientas sencillas y requiriendo pocas destrezas.
- Al absorber líquidos, permite tratarla con pinturas para su protección o decoración.
- En comparación a su peso, es muy fuerte y, cuando está seca y libre de defectos, puede compararse, peso por peso, en resistencia con otros materiales de construcción.

- Es mala conductora del calor, sonido y electricidad, por lo que resulta un material aislante excelente.
- Se contrae o dilata muy poco con los cambios de temperaturas.
- Absorbe choques y vibraciones mejor que otros materiales.
- No se oxida y resiste la acción de los ácidos y del agua salada.
- Los defectos presentes pueden descubrirse frecuentemente en la superficie, lo que permite clasificarla rápidamente y darle un destino que por dicha clasificación le corresponda.
- Muchas maderas son ornamentales y no requieren ningún tratamiento para su empleo como tal.
- Las estructuras de madera pueden desmontarse fácilmente, recuperándose totalmente el material original.
- La madera no cristaliza ni se vuelve quebradiza, como los metales ni pierde sus características de cohesión, como el hormigón, cuando se somete a temperaturas muy bajas.
- Antes de quebrarse presenta síntomas que lo anuncia, lo que resulta de suma importancia para prevenir accidentes.
- Puede curvarse mediante el calor, y mantener la nueva forma indefinidamente.

- Mediante trituración, puede ser convertida en láminas o en piezas estructurales, en anchos, espesores y largo, prácticamente sin otra limitación que la determinada por su propio empleo.

En contraposición a estas características comunes de las maderas, que significan una ventaja en su empleo, este material posee algunas limitaciones tecnológicas, tales como:

- La madera maciza debe ser unida con conectores metálicos, o encolada, para aumentar la longitud de las piezas.
- Tiene una dureza y resistencia limitadas.
- Como sustancia higroscópica, varia su contenido de humedad de acuerdo con los cambios ambientales, lo que origina cambios en la forma y dimensiones de las piezas.
- Es susceptible al ataque de hongos, que la manchan y desintegran, y a insectos, que la perforan.
- Es combustible y, una vez encendida, desprende gases que tienden a aumentar la temperatura y con ello la combustión, aun hasta después que la fuente originaria de calor ha desaparecido.
- La solidez de la madera es variable, no sólo entre las especies, sino dentro de una misma especie.
- La mayoría de las maderas se hienden fácilmente a lo largo de las fibras.

Las desventajas de la madera pueden solucionarse con las siguientes medidas:

- Las deformaciones pueden aminorarse y evitarse mediante el correcto secado, aplicación de productos hidrófugos y utilización de elementos laminados y contrachapados.
- Muchas maderas son naturalmente resistentes a la acción de hongos e insectos. Aquellas susceptibles pueden ser protegidas eficazmente por medio de impregnación.
- Mediante, el empleo de maderas densas, de baja combustibilidad, escuadrías grandes y aplicación de sustancias ignífugas, se reduce sustancialmente el riesgo del fuego.
- Los sistemas de ensamblado-laminado permiten obtener piezas de madera con largos y espesores considerables, lográndose estructuras con luces amplias.

Las ventajas y limitaciones de la madera deben compararse con las de otros materiales, a fin de establecer la conveniencia de su elección frente a condiciones competitivas. Un análisis preliminar puede efectuarse de acuerdo a lo expresado en la tabla nº 5.



**Tabla nº 5. Cuadro comparativo de características de distintos materiales de construcción**

<b>MADERA</b>	<b>HIERRO</b>	<b>HORMIGON</b>
Baja densidad.	Reducida sección, lo que ahorra espacio.	Permite estructuras fuertes y decorativas.
Elevada resistencia en relación al peso.	Apariencia liviana.	Grandes luces y cargas.
Bajo costo de mantenimiento.	Preparación en taller.	Modernas formas arquitectónicas.
Fácil de instalar con herramientas comunes.	Instalación rápida.	Pre- fabricación.
Fácil de reparar y unir.	Piezas más pesadas.	Pre-tensado del material.
Resistente al humo y agentes químicos.	Elevado peso en las construcciones finales.	Muy pesado, exigiendo cimientos reforzados.
Puede deformarse.	Mantenimiento más difícil, requiere medios mecánicos para moverlo y levantarlo.	Demora en el fraguado.
Sujeta al ataque de insectos y hongos.	Requiere herramientas especiales para su instalación.	No presenta problemas.
Peligro del fuego; elevadas primas de seguro.	Difícil de recuperar después de un incendio.	Inservible después de un incendio.
No aceptable para pared de medianera.	Sujeto a la corrosión, a menos que se pinte regularmente.	Aceptable para medianeras y de fácil mantenimiento (pintado).
Difícil de obtener en longitudes y espesores considerables.	No presenta problemas en cuanto a longitudes y espesores.	No presenta problemas en cuanto a longitudes y espesores.

#### **4.11.1 Conservación de la madera para la construcción**

Conservar la madera implica proteger, preservar una pieza leñosa, para que su función en la vivienda se prolongue en buenas condiciones de uso, el periodo más dilatado posible. El umbral debe exceder los 30 años, lapso que le otorga competitividad frente a los materiales tradicionales no leñosos.

Desde el punto de vista profesional de la construcción, existen tres procedimientos de distinta índole que facilitan o permiten ofrecer a los componentes leñosos una prolongada vida útil.

El primero consiste en la eliminación del excedente de agua, procedimiento denominado secado, reduce el contenido de humedad por debajo del 20 %, este método es el más simple y económico y cubre dos objetivos en la madera: evitar o disminuir los fenómenos físicos anormales de forma y estructura que conspiran contra su aplicación, como así también el ataque de los hongos xilófagos que afectan al leño. Este sistema mantiene su vigencia siempre y cuando se adopten los recaudos que corresponden, los componentes deben ser emplazados en áreas a las que no accederá, ya sea de manera temporaria o permanente, pero sí accidental, la humedad del entorno.

En otras palabras, si el umbral del 20% de humedad no se altera, cualquier madera resulta inmune al ataque de los hongos y se minimizan los movimientos perjudiciales. Como sabemos, la madera siempre se somete al secado (natural o artificial) antes de su empleo, pero es necesario reducir ese contenido de humedad al grado requerido de acuerdo con el lugar de emplazamiento y con el servicio a cumplir, siendo indispensable además que se muestre sin alteraciones por cualquier acción exterior.

Cuando no es factible mantener aquel umbral de humedad o resulta riesgoso asegurarlo, máxime si la madera va estar en contacto con el exterior,

suelo o intemperie, o será utilizada en saunas, sótanos, etc., debe recurrirse al segundo método de protección denominado preservación.

El tercer método se conoce como conservación por diseño, se trata de medidas que se implementan y se insertan dentro del arte de proyectar y construir con piezas leñosas. En general el principio es que cuando una madera es expuesta accidentalmente al ingreso de agua, por contacto en forma líquida o gaseosa, deben instrumentarse medidas constructivas que disminuyan o impidan este efecto, bloqueando el acceso o favoreciendo su eliminación. Los ejemplos más comunes son los aleros insuficientes, (que también protegen del sol y otros meteoros), encuentros, encastres y contacto entre piezas diseñadas en carpinterías que retienen el agua y obstaculizan su egreso; la ausencia de aberturas o respiraderos de ventilación en cubiertas de tejas con cielorrasos suspendidos, que hasta se llegan a montar sin acceso del hombre para inspeccionar el estado de cabriadas y vigas.

Según los escritos del Ing. Lomagno J. - Área de Tecnología de la Madera, CIEFAP:

“El comportamiento de una vivienda es consecuencia principalmente del diseño, la calidad de la construcción y el uso durante su vida en servicio. En este comportamiento aparecen entre otros los aspectos de seguridad, durabilidad y confort para los ocupantes.

En muchas experiencias se ha comprobado que los puntos de mayor probabilidad de falla en construcciones de madera son las uniones. Paradójicamente en nuestro país los códigos de edificación presentan valores de diseño para el cálculo de piezas de madera, pero no se proponen herramientas para el diseño de las uniones entre componentes de madera.

La durabilidad es otro punto importante, esta asociada al posible deterioro de los elementos, contabilizado principalmente por la pérdida de resistencia mecánica, pero también por cambios funcionales, tales como roturas en revestimiento exterior que origina entradas de agua, o estéticos, como el cambio de color que sufren las maderas debido a la acción de la luz sobre su superficie.

Las causas de deterioro de la madera pueden agruparse en ambientales, fúngicas y debido a insectos. El deterioro ambiental se manifiesta en el óxido de metales, utilizados en las uniones, el opacamiento de las superficies de madera debido a la acción de la luz, el agrietamiento de revoques por el congelamiento de agua intersticial entre otros.

La madera, como material orgánico puede sufrir también el ataque de hongos, algunos de los cuales consumen a la estructura principal de la madera, originando pudriciones, 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 mas de 25 a 30 % de humedad, lo cual se produce si se condensa agua en algún punto del interior del muro, 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. Un adecuado diseño de los muros de madera permite lograr esto, pero un mal diseño, o errores durante la construcción pueden dar lugar a la formación de zonas dentro de los muros con humedades superiores a 90% y el riesgo de aparición primero de mohos, y luego hongos.”

## **4.12 Método para determinar la durabilidad de la madera**

### **4.12.1 Introducción**

La durabilidad de las maderas se determina, a través de métodos de laboratorio y de campo. Aunque las técnicas son muy variadas, los métodos más generalizados son los que se realizan en laboratorios, se los conoce como “Pruebas Aceleradas” por su corta duración. Los que se llevan a cabo en el campo o “Cementerios”, que son pruebas definitivas de durabilidad, tienen el inconveniente de demandar mayor tiempo.

Los datos que se obtienen en laboratorio se denominan “Índices” debiéndose la información ser comparada con la que se logra en los cementerios para que sea más confiable. Las experiencias alcanzadas hasta el momento indican que aunque existan algunas diferencias en los resultados, estas dos determinaciones son, en su mayor parte, equivalentes y por eso aceptadas en todo el mundo.

### **4.12.2 Pruebas aceleradas en laboratorio**

Las pruebas para la determinación de la durabilidad o resistencia natural de una madera en laboratorio permiten obtener información sobre la efectividad de un producto preservante o el desempeño de una cepa de hongos en un tiempo relativamente corto de entre 3 a 6 meses.

Estos ensayos demandan:

1. Control estricto de las técnicas y procedimientos de laboratorio para establecer el trabajo en condiciones de asepsia.
2. Control de las variables más importantes que intervienen en el proceso, como ser, temperatura, humedad relativa, ventilación.

3. Simplificación del objeto de estudio, poco material, en este caso un número pequeño de probetas y cepas de algunos hongos.

Para la realización de ensayos de laboratorio se conocen varias metodologías, para este proyecto se siguió la técnica sugerida por la Norma IRAM n° 9518, que consiste en desarrollar las cepas de hongos en un medio de cultivo compuesto por agar-agar y extracto de malta, colocándose sobre el mismo probetas por un lapso de tres meses.

La metodología norteamericana consiste en el cultivo de un hongo xilófago en un medio artificial (agar-extracto de malta), disperso en caja de Petri o Erlenmeyers, una vez desarrollada la cepa se coloca sobre el mismo una tablilla de madera denominada “feeders strip”, una vez que la misma esta totalmente colonizada, sobre ella se coloca la probeta cuya durabilidad se quiere determinar.

La metodología europea también emplea un medio artificial radicando la diferencia en que sobre el medio se colocan pequeñas probetas de albura de *Pinus sylvestris* inoculadas con el hongo a ensayar, una vez que la misma esta colonizada por el micelio, se coloca sobre ella la probeta cuya durabilidad se quiere ensayar.

La metodología sugerida por López & Deschamps es colocar el trozo de micelio sobre la cara transversal superior de cada una de las probetas a ensayar enterrando éstas en el sustrato en un 50%.

Todas las metodologías expuestas permiten comparar el desempeño particular entre distintas maderas, hongos y preservantes.

El dato final de este ensayo es el porcentaje de pérdida de peso después del ataque de los hongos respecto del inicio del mismo. Con esta información

podemos clasificar a las maderas empleando distintos tipos de tabla en este estudio se utilizó para la clasificación de las cinco especies el “Criterio de Findlay”, que no ofrece diferencias significativas respecto de las otras tablas sugeridas.

**Tabla nº 6. Clasificación por resistencia de las maderas según pérdida de peso**

<b>Pérdida de peso</b>	<b>Categoría de Resistencia</b>
Inferior al 5 %	Muy Resistente
5 % al 10 %	Resistente
10 % al 20 %	Moderadamente resistente
20 % al 30 %	No resistente
Superior al 30 %	Sin resistencia

Es difundido además el uso de la norma ASTM-D-2017, sus preceptos son presentados en del cuadro nº 7.

**Tabla nº 7. Clasificación de la resistencia de las maderas según norma ASTM-D-2017**

<b>Pérdida de peso (%)</b>	<b>Peso residual (%)</b>	<b>Tipo de resistencia</b>
0 - 10	90 - 100	Altamente resistente
11 - 24	76 - 89	Resistente
25 - 44	56 - 75	Moderadamente resistente
45 - mas	55 - más	No resistente

Es muy importante tener en cuenta que los resultados aportados por ensayos de laboratorio pueden no corresponder, si las condiciones en cuanto a ambiente o constructivas no son similares a las del ensayo

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Madera

Se estudia la durabilidad de la madera de cinco especies de cultivo potencial en la provincia de Misiones. Las muestras provienen de industrias madereras locales, el material utilizado es seleccionado totalmente al azar teniendo presente que cumpla con la característica de ser sin nudos, manchas ni pudriciones.

Se considera:

1. *Bastardiopsis densiflora*, (Loro blanco)
2. *Melia azedarach*, (Paraíso)
3. *Pawlonia sp.* (Kiri)
4. *Toona ciliata* (Toona o cedro australiano)
5. *Grevillea robusta*, (Grevillea)

### 5.2 Hongos

Se ensayó tres cepas de hongos que fueron provistas por el Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. (UBA), a saber:

1. *Laetiporus sulfureus*- BAFC: 205
2. *Pycnoporus sanguineus*- BAFC: 2341
3. *Ganoderma applanatum* - BAFC: 1168



## **5.3 Metodología**

Se sigue la metodología sugerida por las Normas IRAM N° 9518 “Toxicidad, permanencia y eficacia de preservadores de maderas”, método de laboratorio del año 1962.

### **5.3.1 Diseño estadístico**

Como diseño experimental se adoptó el totalmente aleatorizado, con análisis factorial 2 por 3 por 5, siendo dos las condiciones iniciales de las probetas de madera, (Natural y Lavadas); tres los niveles de hongos y cinco las diferentes especies de madera. La variable medida fue el peso de las probetas al inicio y al final del experimento. (Area, 1996)

En tabla n° 8 se adjunta esquema de la estructura del diseño experimental empleado.

Tabla nº 8. Diseño experimental

ESPECIES	HONGOS	TRATAMIENTOS	REPETICIONES
1	1	N	5
		L	5
	2	N	5
		L	5
	3	N	5
		L	5
2	1	N	5
		L	5
	2	N	5
		L	5
	3	N	5
		L	5
3	1	N	5
		L	5
	2	N	5
		L	5
	3	N	5
		L	5
4	1	N	5
		L	5
	2	N	5
		L	5
	3	N	5
		L	5
5	1	N	5
		L	5
	2	N	5
		L	5
	3	N	5
		L	5

## 5.3.2 Etapas

### 5.3.2.1 Preparación de las probetas

Para los ensayos se utilizaron 150 probetas de 3 x 1 x 0,5 cm. 30 probetas por especie, 15 de las cuales se emplearon en condiciones naturales, siendo las 15 restantes sometidas a lavados en extractor Soxhlet.

### 5.3.2.2 Estabilización de las probetas

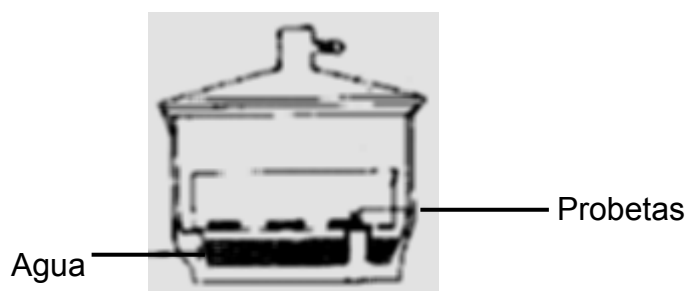
Las probetas fueron colocadas a ambiente de laboratorio durante 72 hs. hasta que las mismas alcanzaran un peso estable, las mediciones fueron repetidas tres veces, como mínimo.

A esta primera variable medida, se la denominó:

**Peso Estabilizado 1 ( $P_{est1}$ ).**

### 5.3.2.3 Esterilización y humectación de las probetas de maderas naturales

Previo a la colocación de las probetas en los tubos con cultivos de hongos se separó las 15 probetas destinadas a valorar la resistencia natural, siendo las mismas colocadas en un soporte de un desecador con agua destilada, de tal manera de convertirlo en cámara húmeda. Ver gráfica nº 1.



**Gráfica nº 1. Cámara húmeda.**

Transcurridas 48 hs dichas probetas fueron colocados en estufa hasta alcanzar una temperatura de 110° C durante 1/2 hora, con el fin de esterilizarlas. Una vez cumplida esta etapa, y sin extraer las probetas de la estufa se bajó la temperatura a 30° C manteniéndola en esa condición por 12 horas, de modo que las probetas alcanzaran una humedad constante de aproximadamente 30%.

#### **5.3.2.4 Lavado, esterilización y humectación de las probetas sometidas a ciclos de lavado**

Una vez separadas por especies las 15 probetas restantes fueron colocadas en un extractor Soxhlet cargado con agua destilada, efectuándose diez (10) pasadas de líquido a través de la cámara. El objetivo de este procedimiento es acelerar el proceso de las probetas puestas en la intemperie, se presupone que es el número necesario de lavadas para que todas las sustancias solubles en agua fueran extraídas durante esta operación. Finalizado este proceso, y para garantizar la esterilidad, el agua de la cámara fue hervida aproximando la llama del mechero, tratando de que no se pierda vapor por la parte abierta del Soxhlet, tras lo cual se considera que las probetas tienen suficiente humedad, lo que puede estimarse en 35 % a 40 %.

Ver foto nº 9.



**Foto nº 9. Extractor Soxhlet**

### **5.3.2.5 Determinación de la pérdida de peso de las probetas sometidas a lavado con agua destilada en extractor Soxhlet**

El objetivo de esta medición es determinar la cantidad de sustancias solubles extraídas durante el lavado en Soxhlet.

Por cada especie se había llevado tres probetas de las mismas dimensiones a estufa a 110° C hasta alcanzar estado anhidro, midiéndose posteriormente su peso, el que en adelante pasó a denominarse “peso anhidro antes del lavado” ( $P_{a1}$ ). Posteriormente las probetas fueron dejadas en ambiente de laboratorio durante 72 hs siendo luego colocadas todas las probetas en el extractor Soxhlet. Se hizo circular por la cámara 10 pasadas de agua destilada para proceder luego a la retirada de las probetas, siendo estas escurridas y llevadas nuevamente a estufa a la misma temperatura que en el paso anterior hasta recuperar su estado anhidro, denominado a partir de este momento “peso anhidro después del lavado” ( $P_{d1}$ ). Con estos datos se procedió a calcular el porcentaje de pérdida de peso por lavado, utilizando la

siguiente expresión:  $\% PL = \frac{P_{a1} - P_{d1}}{P_{a1}} \times 100$ ; que será descontado de las

probetas lavadas, utilizando en los ensayos un porcentaje promedio por especie.

### **5.3.2.6 Preparación del medio de cultivo**

Como medio de cultivo de las cepas, se empleó el indicado en la Norma I.R.A.M. N° 9518, apartado G/16, donde el medio está compuesto por 25 gr de agar-agar y 15 gr de extracto de malta, por cada 1000 gr de agua destilada. Previa disolución a baño maría y posterior filtrado, cuando el medio esta fluido. Esta solución fue distribuida en tubos Pirex de 200 mm de largo y 20 mm de diámetro, obturados con tapón de algodón. Los tubos de ensayo fueron llevados a un autoclave para ser esterilizados a 1,5 atmósferas de presión por el término de 30 minutos; siendo posteriormente colocados en grillas de forma levemente inclinada para que al solidificarse el medio se obtenga un pico de flauta suficientemente extenso.

### **5.3.2.7 Selección y cultivo de hongos**

Se utilizaron las cepas de tres hongos proporcionados por el Departamento de Ciencias Biológicas, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, por ser las más comunes en nuestra zona:

1.- *Pycnoporus sanguineus* BAFC: 2341

2.- *Ganoderma applanatum* BAFC: 1168

3.- *Laetiporus sulphureus* BAFC: 205

Trozos de micelio de las cepas de los hongos antes nombrados fueron colocados dentro de los tubos con el medio preparado para el desarrollo de los

mismos teniendo en cuenta todos los cuidados de asepsia por medio de la utilización de una cámara de flujo laminar. Una vez finalizada esta etapa los mismos fueron colocados en una estufa de cultivo a una temperatura de entre 26° C a 28° C durante 14 días, tiempo suficiente para el desarrollo vigoroso del micelio que cubría totalmente la superficie formada por el pico de flauta. Los tubos que no desarrollaron bien los micelios fueron eliminados.

### **5.3.2.8 Colocación de las probetas en tubos con micelio de hongos**

Las probetas de madera, esterilizadas y humectadas como fue descrito en pasos precedentes, fueron colocadas asépticamente, (utilizando para ello una cámara de flujo laminar), sobre el micelio desarrollado adecuadamente sobre el pico de flauta del medio de cultivo en los tubos, como lo muestran las fotos nº 10 a 12.



Foto nº 10. Especie maderera ensayada: *Toona ciliata*.

Hongo: *Ganoderma applanatum*





Foto nº 11. Especie maderera ensayada: *Toona ciliata*.

Hongo: *Laetiporus sulphureus*



Foto nº 12. Especie maderera ensayada: *Toona ciliata*.

Hongo: *Pycnoporus sanguineus*

Cada tubo fue identificado con una letra representando a la especie, el número de la probeta, la especie de hongo y el tratamiento (natural o lavada).

Una vez colocadas las probetas en los tubos, los mismos fueron dispuestos horizontalmente en estufa de cultivo a  $27\pm 1^\circ\text{C}$  por el transcurso de tres meses. Debido a la dificultad ocasionada por el tamaño insuficiente de la cámara de cultivo y la poca disponibilidad de tubos para realizar los ensayos, los mismos fueron implementados en forma separada, en primer lugar se implementó el tratamiento “*natural*” por especie de madera y especies de hongos, para posteriormente ensayar probetas “*lavadas*” considerándose de igual modo especie de madera y tipo de hongo. El ensayo total fue completado en un lapso de 9 meses.

### 5.3.2.9 Retiro de las probetas y estabilización

Con el fin de verificar el desarrollo uniforme del micelio y la posibilidad de contaminación las probetas fueron examinadas semanalmente. Al cabo de tres meses fueron retiradas las probetas de cada tubo siendo limpiadas con un paño para eliminar todo vestigio de micelio de hongos evitándose así que siga actuando una vez retiradas de la estufa de cultivo. Permanecieron en ambiente de laboratorio en esas condiciones por un período de 72 hs, tiempo en el que se completó la limpieza. Ver foto n° 13.



Foto n° 13. Probetas tras la eliminación de todo resto de micelio.

Posteriormente las probetas fueron llevadas a cámara húmeda durante un tiempo, que en ninguno de los casos fue inferior a las 48 hs, para lograr de esta manera alcanzar la misma humedad de estabilización del inicio del ensayo, un rango entre 30% a 40%. Se controló el peso hasta que este permaneciera constante. Este dato de peso de cada probeta después de ser sometidas a la acción de los hongos fue tomado como “peso estabilizado 2” ( $P_{et 2}$ ).

### 5.3.2.10 Pérdida de peso del tejido leñoso

Siendo la humedad de estabilización para cada tipo de madera la misma antes y después del ataque de los hongos, la pérdida de peso en tejido leñoso ( $PTL$ ) se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta PTL\% = \frac{P_{est 1} - P_{et 2}}{P_{est 1}} \times 100$$

Aplicando esta expresión tendremos dos resultados según estemos hablando de:

- a) Madera natural: nos dará el porcentaje de pérdida de tejido leñoso por la acción del hongo referida al peso de tejido inicial.
- b) Madera lavada: como el peso estabilizado 1 ( $P_{est 1}$ ) es el peso sin lavado antes del ataque, y el peso estabilizado 2 ( $P_{et 2}$ ) es el peso después de lavado y del ataque hongo; la expresión indica pérdida de peso de tejido leñoso por la acción conjunta del lavado y del hongo, referida al peso de tejido leñoso inicial. Por lo tanto al valor obtenido con la expresión anterior debemos restarle el porcentaje de pérdida de peso por lavado (% P L), obtenido por el método descrito con anterioridad, la diferencia  $\Delta PTL\% - \% PL$ , será igual a la

pérdida porcentual de peso de la madera lavada por acción del hongo referida a peso de tejido leñoso inicial.

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Pérdidas de peso por: tratamiento – hongo – madera**

En la tabla 9, se presentan los porcentajes de pérdida de peso promedio en orden decreciente, por especie, hongo y tratamiento recibido.

En la misma se observa que las especies que sufrieron la mayor pérdida de peso, superior al 49,6 %, son el Loro blanco, cuando la misma es sometida a ciclos de lavado y la madera de Paraíso, para ambos tratamientos; y las dos especies frente a la acción del hongo *Laetiporus sanguineus*.

**Tabla 9. Medias de pérdida porcentual de peso, según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada.**

<b>Interacción</b>	<b>% Pérdida</b>
Lavada Laetiporus Loro blanco	58,33413315
Lavada Laetiporus Paraíso	56,21352768
Natural Laetiporus Paraíso	49,57242584
Lavada Pycnopus Paraíso	35,49031448
Lavada Pycnopus Loro blanco	34,22274780
Lavada Ganoderma Kiri	33,20032120
Natural Pycnopus Paraíso	33,18479538
Natural Ganoderma Kiri	29,50521851
Natural Pycnopus Loro blanco	29,07048988
Lavada Ganoderma Paraíso	28,61156273
Lavada Pycnopus Grevillea	26,41000366
Natural Ganoderma Paraíso	25,72260666
Lavada Laetiporus Grevillea	24,63978195
Natural Pycnopus Grevillea	22,59025764
Lavada Ganoderma Loro blanco	19,03932953
Lavada Laetiporus Kiri	15,12978935
Lavada Pycnopus Kiri	14,74558735
Natural Pycnopus Kiri	10,94113159
Lavada Ganoderma Grevillea	10,30215073
Natural Laetiporus Kiri	9,91941929
Lavada Laetiporus Toona	7,60384989
Natural Ganoderma Loro blanco	6,59573984
Natural Laetiporus Grevillea	5,86445284
Natural Laetiporus Loro blanco	3,88684011
Lavada Pycnopus Toona	2,76467562
Natural Ganoderma Grevillea	2,30494142
Lavada Ganoderma Toona	1,94515681
Natural Laetiporus Toona	1,64612043
Natural Pycnopus Toona	1,48290145
Natural Ganoderma Toona	1,03673029

## 6.2 Pérdida de peso considerando la totalidad de las interacciones.

Tabla 10. Porcentaje de pérdida de peso según tratamiento, especie maderera y hongo.

Especie	Lavado				Natural			
	Hongos	Media	Desv. Est.	CV	Hongos	Media	Desv. Est.	CV
Loro blanco	Laetiporus	58,33	11,85	20,31	Picnoporus	29,07	1,18	4,05
	Picnoporus	34,22	3,73	10,90	Ganoderma	6,60	1,68	25,52
	Ganoderma	19,04	2,01	10,57	Laetiporus	3,89	1,11	28,61
Paraíso	Laetiporus	56,21	2,11	3,74	Laetiporus	49,57	4,07	8,21
	Picnoporus	35,49	3,88	10,94	Picnoporus	33,18	3,37	10,16
	Ganoderma	28,61	1,62	5,68	Ganoderma	25,72	2,75	10,70
Kiri	Ganoderma	33,20	4,58	13,80	Ganoderma	29,51	3,73	12,63
	Laetiporus	15,13	2,82	18,63	Picnoporus	10,94	1,10	10,01
	Picnoporus	14,75	1,96	13,28	Laetiporus	9,92	1,51	15,18
Grevillea	Picnoporus	26,41	4,46	16,89	Picnoporus	22,59	2,87	12,69
	Laetiporus	24,64	2,30	9,35	Laetiporus	5,86	1,93	32,92
	Ganoderma	10,30	1,31	12,73	Ganoderma	2,30	0,78	33,73
Toona	Laetiporus	7,60	0,85	11,21	Laetiporus	1,65	0,32	19,34
	Picnoporus	2,76	0,66	24,01	Picnoporus	1,48	0,18	12,23
	Ganoderma	1,95	0,68	35,11	Ganoderma	1,04	0,24	23,60

En la tabla 10 se presenta (en %), el promedio de pérdida en peso, desvío estándar y coeficiente de variación por tratamiento y por hongos, de la misma se puede extraer los siguientes resultados:

- a. En el caso de Loro blanco, para el hongo *Picnoporus sanguineus* los valores de porcentaje de pérdida son similares para ambos tratamientos, con lo que podemos deducir que la madera de esta especie sería atacada de la misma manera estando al resguardo que a la intemperie.

- b. Cabe destacar que considerando la madera de Loro blanco, el mayor porcentaje de pérdida de peso se da para el hongo *Laetiporus sulphureus* y cuando la misma es sometida a ciclos de lavado se observa una pérdida de alrededor del 58 %; en cambio, si la madera es inoculada con el mismo hongo pero es dejada en su estado natural la misma es resistente y la pérdida en peso no supera el 3,5 %. Es importante tener en cuenta que dicho hongo es de pudrición castaña, teniendo la particularidad de extraer todo el contenido celular y luego destruir la celulosa y hemicelulosa. Las células de la madera de Loro blanco poseen un alto contenido de sustancias, entre ellas polifenoles, 23,1 mg/l (PROCyP), considerados tóxicos para el desarrollo de los hongos, (Argüelles, T. y Fernández, G.) y al ser eliminados estos a través del lavado la madera ésta sería más susceptible.
- c. En las especies Paraíso, Grevillea y Toona se mantuvo el mismo orden descendente de porcentaje de pérdida en ambos tratamientos y para cada tipo de hongo en estudio. Los pares de valores de porcentaje de pérdida (lavada y natural) son muy similares y el único caso donde se evidencia una diferencia mayor es la madera de Grevillea, cuyo porcentaje de pérdida de peso al ser sometida a ciclos de lavado ronda el 25%, no superando la misma madera sin tratamiento alguno el 6% de pérdida en peso. La especie de hongo a la que se hace referencia es *Laetiporus sulphureus*, de pudrición parda, y si hablamos de contenido celular la especie Grevillea posee entre 38 mg/l de polifenoles que como



se mencionara anteriormente es tóxico para el desarrollo del micelio del hongo y al ser los mismos extraídos de la madera por lavado esta se torna más propensa al ataque de agentes xilófagos.

- d. La madera de Kiri, es mas susceptible al ataque del hongo *Ganoderma applanatum*, para ambos tratamientos los porcentajes de perdida de peso son similares, cercanos al 30%, lo que la hace una madera muy poco resistente, para los otros dos hongos y para los tratamientos a los que fueron sometidos las diferencias no son significativas.
- e. De la tabla surge además que de las tres especies de hongos estudiadas, *Laetiporus sulphureus* resulta ser más agresiva. En el caso de la madera de Toona donde para ambos tratamientos las pérdidas de peso no superaron el 3%, es destacable que el único caso en el que la pérdida fue superior, alrededor del 8%, se dio para este hongo y cuando la madera fue sometida al lavado de las sustancias solubles en agua. Es importante subrayar que la madera de Toona, al igual que la de Loro blanco y la Grevillea, posee como componentes celulares polifenoles, 126,7 mg/l (PROCyP).

### 6.3 Análisis de efectos. 1-Tratamiento, 2-Hongo, 3-Madera

**Tabla 11. Interacciones tratamiento – hongo – madera.**

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	1	3052,31665	120	10,4315939	292,603088	0
2	2	734,000732	120	10,4315939	70,3632355	6,0224E-21
3	4	5071,49658	120	10,4315939	486,166992	0
12	2	807,549988	120	10,4315939	77,4138641	2,5541E-22
13	4	589,861206	120	10,4315939	56,5456467	9,9267E-27
23	8	1048,74634	120	10,4315939	100,535576	0
123	8	286,629608	120	10,4315939	27,477066	8,3037E-24

En el análisis se observa que existen diferencias significativas entre los niveles de los factores tratamiento, hongo y madera.

Las interacciones tratamiento – hongo, tratamiento – madera, hongo – madera, fueron estadísticamente significativas.

De igual manera fue significativa la interacción tratamiento – hongo – madera.

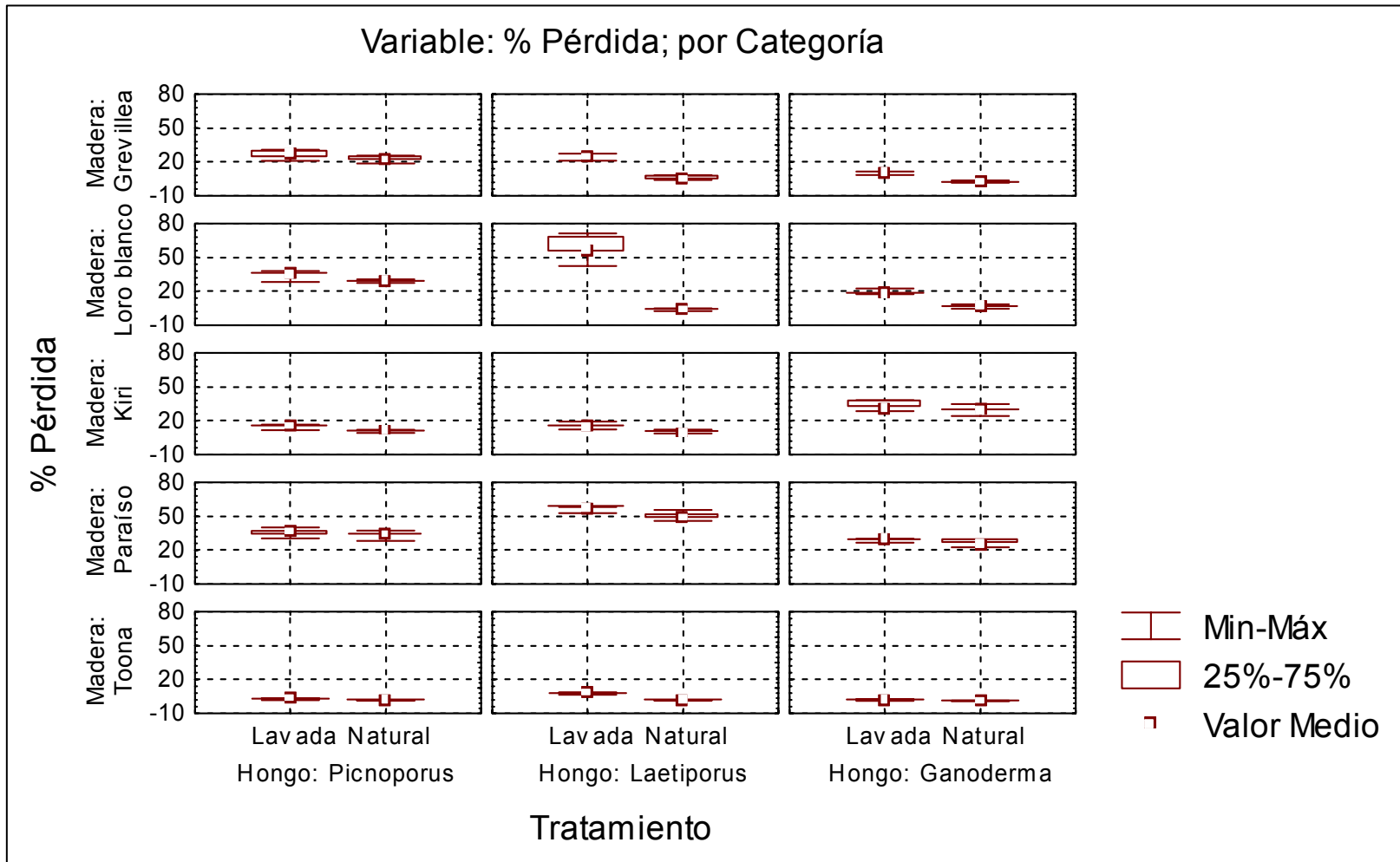
**Tabla 12. Resultados de los efectos**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-level
Effect	60396,0508	1	<b>60396,0508</b>	5789,72412	0
Error	1251,79126	120	<b>10,4315939</b>		

El objetivo de la presentación de la tabla 12 es demostrar que las diferencias son significativas debido a los tratamientos y no al azar, en este proyecto es importante resaltar este hecho debido a que, dentro de las características requeridas, la muestra de madera de la cual provienen las probetas utilizadas es de origen comercial y seleccionada al azar.

#### **6.4 Comparación de medias: especie – hongo – tratamiento**

En el gráfico 2, se observa la comparación de medias considerando la totalidad de las especies bajo estudio, los hongos y tratamientos recibidos, para una misma especie no se denotan diferencias significativas para los tres hongos bajo estudio y los dos tratamientos recibidos, constituyendo la especie Loro blanco una excepción a lo antedicho.



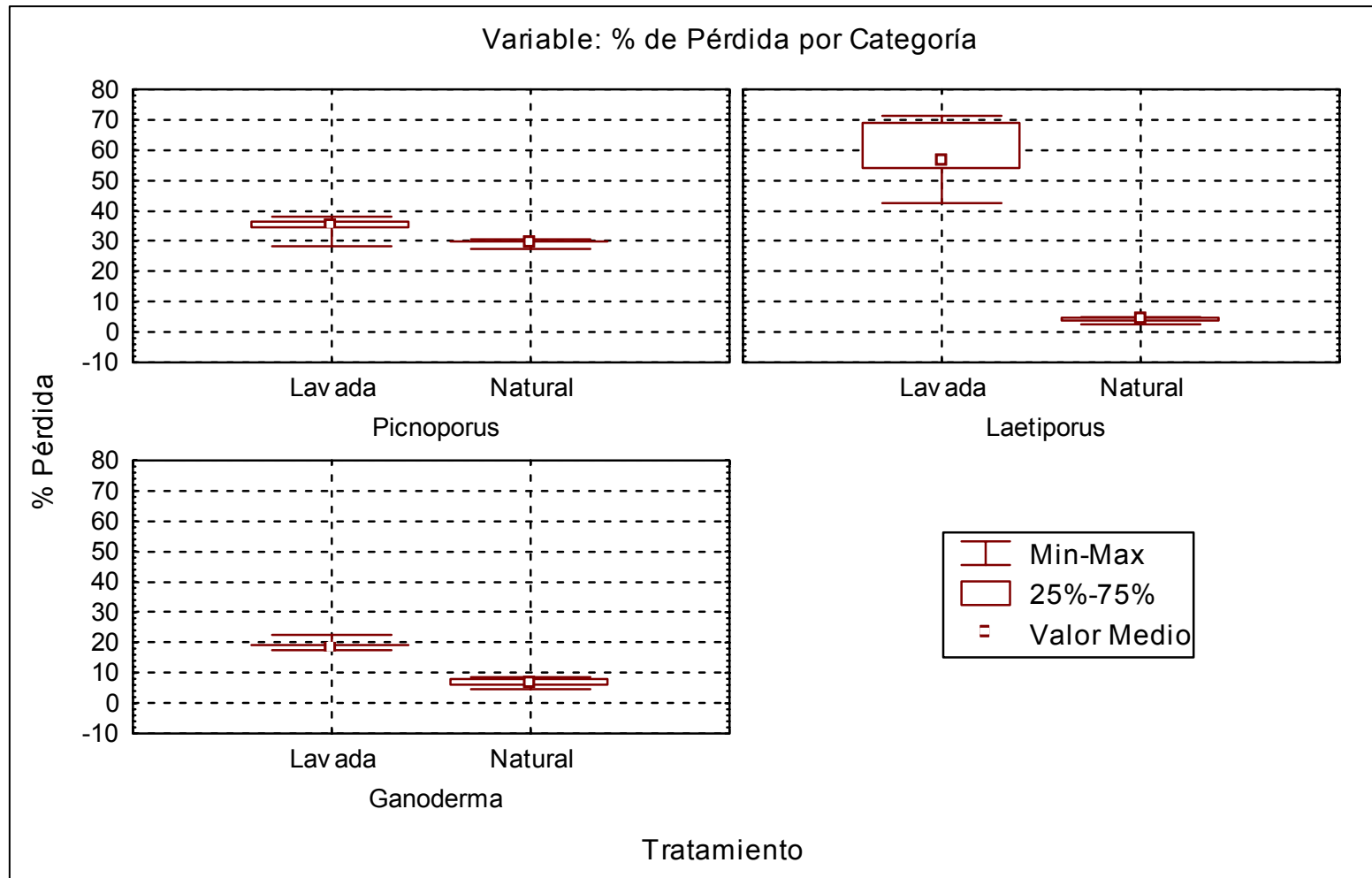
Gráfica n ° 2. Comparación de medias por categoría. Tratamiento – Especie – Hongo.

Con el objetivo de destacar las diferencias de medias entre tratamientos para el caso de la madera de Loro blanco, se presenta el gráfico 3. En el mismo queda evidenciado que éstas son significativas cuando se trata del hongo *Laetiporus sulphureus*.

Loro blanco es la especie que presentó mayor grado de dispersión de valores respecto de la media, esto puede ser atribuido al bajo número de repeticiones.

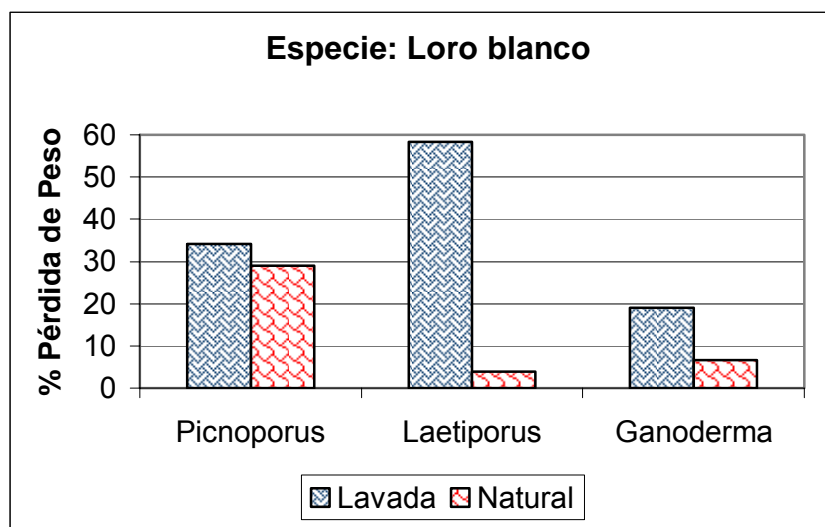
Para los hongos *Ganoderma applanatum* y *Pycnoporus sanguineus*, la gráfica de comparación entre medias por tratamiento denota que no existe diferencia estadísticamente significativa.

La comparación de medias para las demás especies puede apreciarse en el anexo C.

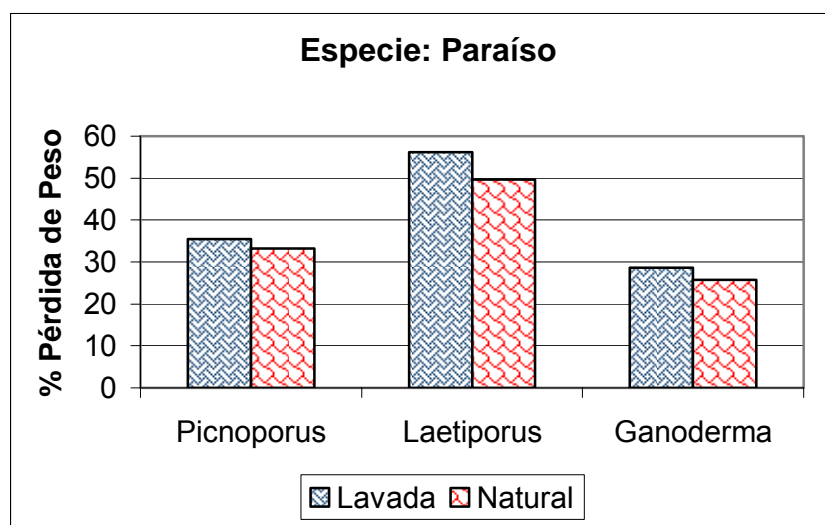


Gráfica n ° 3. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Loro blanco.

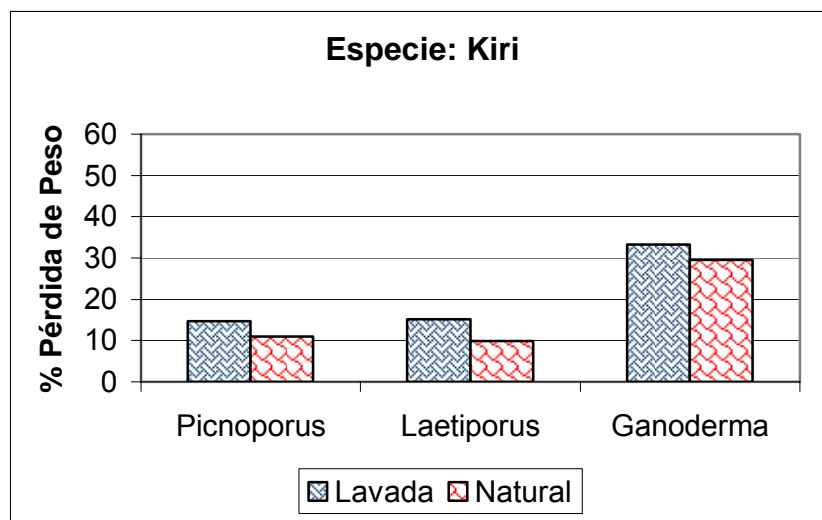
A continuación se presentan los valores medios de pérdida de peso, por especie, tratamiento y hongos, ver gráficas 4 a 8.



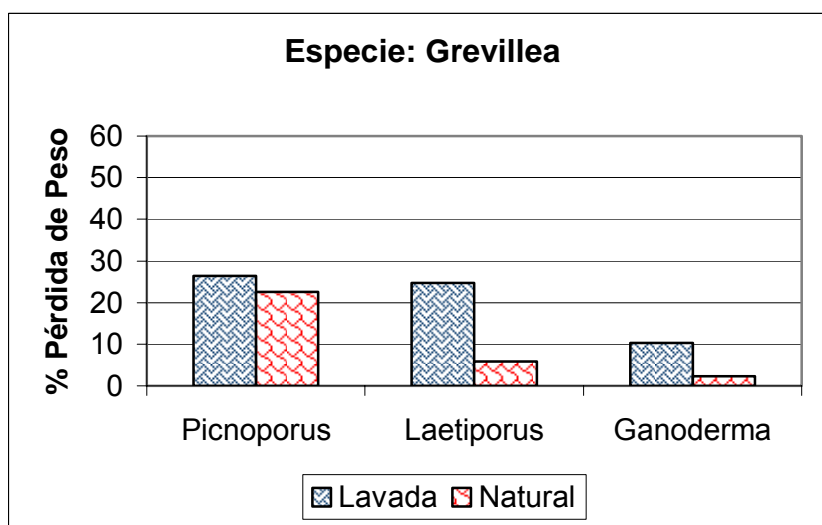
**Gráfica 4. Valores medios de pérdida de peso. Especie Loro blanco.**



**Gráfica 5. Valores medios de pérdida de peso. Especie Paraíso.**

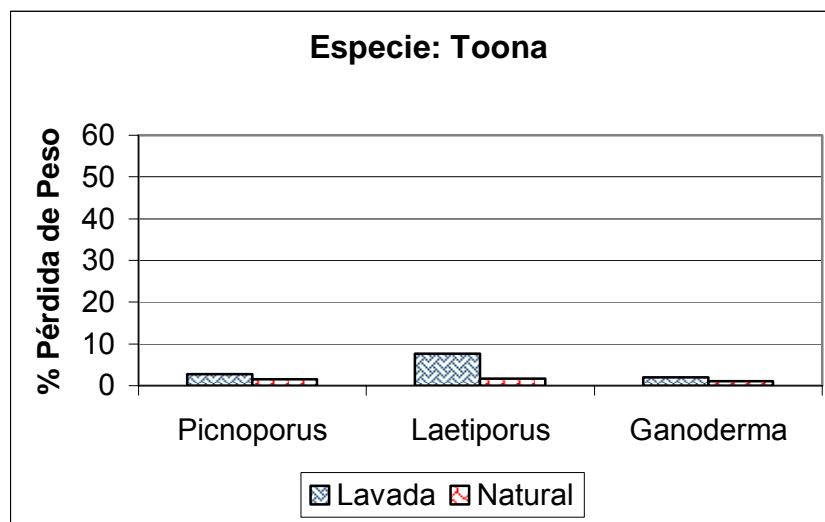


**Gráfica 6. Valores medios de pérdida de peso. Especie Kiri.**



**Gráfica 7. Valores medios de pérdida de peso. Especie Grevillea.**





Gráfica 8. Valores medios de pérdida de peso. Especie Toona.

## 6. 5 Análisis de variancia.

### 6.5.1 Test de Tukey

Se escogió utilizar el Test de Tukey dado que permite comparar todo y cualquier contraste entre dos medias de tratamiento, al mismo tiempo, es exacto cuando el número de repeticiones es el mismo para todos los tratamientos, que es el caso de este proyecto.

**Tabla 13. Test Tukey; variable % pérdida de peso**

	<b>Media</b>	
Natural Ganoderma Toona {30}	1,03673029	a
Natural Picnoporus Toona {20}	1,48290145	a
Natural Laetiporus Toona {25}	1,64612043	a
Lavada Ganoderma Toona {15}	1,94515681	a
Natural Ganoderma Grevillea {26}	2,30494142	ab
Lavada Picnoporus Toona {5}	2,76467562	abc
Natural Laetiporus Loro blanco {22}	3,88684011	abcd
Natural Laetiporus Grevillea {21}	5,86445284	abcd
Natural Ganoderma Loro blanco {27}	6,59573984	abcd
Lavada Laetiporus Toona {10}	7,60384989	abcde
Natural Laetiporus Kiri {23}	9,91941929	bcde
Lavada Ganoderma Grevillea {11}	10,3021507	cde
Natural Picnoporus Kiri {18}	10,9411316	de
Lavada Picnoporus Kiri {3}	14,7455873	ef
Lavada Laetiporus Kiri {8}	15,1297894	ef
Lavada Ganoderma Loro blanco {12}	19,0393295	fg
Natural Picnoporus Grevillea {16}	22,5902576	fgh
Lavada Laetiporus Grevillea {6}	24,639782	gh
Natural Ganoderma Paraíso {29}	25,7226067	ghi
Lavada Picnoporus Grevillea {1}	26,4100037	ghij
Lavada Ganoderma Paraíso {14}	28,6115627	hijk
Natural Picnoporus Loro blanco {17}	29,0704899	hijk
Natural Ganoderma Kiri {28}	29,5052185	hijk
Natural Picnoporus Paraíso {19}	33,1847954	ijk
Lavada Ganoderma Kiri {13}	33,2003212	ijk
Lavada Picnoporus Loro blanco {2}	34,2227478	jk
Lavada Picnoporus Paraíso {4}	35,4903145	k
Natural Laetiporus Paraíso {24}	49,5724258	l
Lavada Laetiporus Paraíso {9}	56,2135277	lm
Lavada Laetiporus Loro blanco {7}	58,3341331	m

En la tabla puede observarse que las letras diferentes indican diferencias significativas.

## 7. CLASIFICACIÓN DE FINDLAY

En base a la información presentada previamente, y de acuerdo al Criterio de Findlay, se clasifica a las maderas en grados de resistencia de acuerdo a la pérdida de peso, tratamiento recibido y hongo. Ver tablas 14 a 19.

**Tabla 14. Hongo: *Laetiporus sulfureus*. Tratamiento: Lavado**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Loro blanco	58,3	Perecedera
Paraíso	56,2	Perecedera
Grevillea	24,6	No resistente
Kiri	15,3	No resistente
Toona	7,6	Moderadamente Resistente

**Tabla 15. Hongo: *Picnoporus sanguineus*. Tratamiento: Lavado**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Paraíso	35,5	Perecedera
Loro blanco	34,2	Perecedera
Grevillea	26,4	No resistente
Kiri	14,8	No resistente
Toona	2,8	Resistente

**Tabla 16. Hongo: *Ganoderma applanatum*. Tratamiento: Lavado**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Kiri	33,2	Perecedera
Paraíso	28,6	No resistente
Loro blanco	19,4	No resistente
Grevillea	10,3	Moderadamente Resistente
Toona	2	Resistente

**Tabla 17. Hongo: *Laetiporus sulfureus*. Tratamiento: Natural**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Paraíso	49,6	Perecedera
Kiri	9,9	Moderadamente Resistente
Grevillea	5,9	Moderadamente Resistente
Loro blanco	3,9	Resistente
Toona	1,7	Resistente

**Tabla 18. Hongo: *Picnoporus sanguineus*. Tratamiento: Natural**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Paraíso	33,2	Perecedera
Loro blanco	29,1	No resistente
Grevillea	22,6	No resistente
Kiri	10,4	Moderadamente Resistente
Toona	1,5	Resistente

**Tabla 19. Hongo: *Ganoderma applanatum*. Tratamiento: Natural**

<b>Especie</b>	<b>% Pérdida de Peso</b>	<b>Grado de Resistencia</b>
Kiri	29,5	No resistente
Paraíso	25,7	No resistente
Loro blanco	6,6	Moderadamente Resistente
Grevillea	2,3	Resistente
Toona	1	Muy Resistente

## **8. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten arribar a las siguientes conclusiones:

1. En cuanto a durabilidad de la madera de *Toona ciliata*, puede concluirse que independientemente de los tratamientos a los que fue sometida y frente a los tres hongos estudiados corresponde ser clasificada de acuerdo al criterio de Findlay como una madera *resistente*.

2. Teniendo en cuenta la misma clasificación, puede concluirse que independientemente a los tratamientos recibidos la madera de Kiri es *no resistente* frente a la acción de los hongos *Picnoporus sanguineus* y *Laetiporus sulphureus* y *moderadamente resistente* en caso de *Ganoderma applanatum*.
3. En cuanto a Loro blanco y Grevillea, son maderas *resistentes* frente a los hongos *Laetiporus sulphureus* y *Ganoderma applanatum*, cuando las mismas están en estado natural. Siendo, para el mismo tratamiento, clasificadas como madera *no resistente* ante *Picnoporus sanguineus*.
4. Las maderas de Loro blanco y Grevillea, cuando son sometidas a ciclos de lavado, y para los tres hongos bajo estudio, son *no resistentes*. Por lo dicho se puede concluir que tanto la madera de Loro blanco como la de Grevillea deberían ser utilizadas sólo al resguardo de la intemperie, o en caso contrario, ser sometidas a algún tratamiento con preservantes.
5. En caso del Paraíso, independientemente del tratamiento y frente al ataque de los tres tipos de hongos la pérdida de peso fue en promedio superior al 30 %, clasificándose por lo tanto de acuerdo al criterio de Findlay como una especie de madera *perecedera*.
6. Se puede concluir además que si la especie contiene gran cantidad de polifenoles, como es el caso de la madera de Toona, Loro blanco y Grevillea, (Argüelles, T.; Agostini, P.; Fernández, G.) las diferencias entre los tratamientos adquiere mayor importancia, dado que las sustancias nombradas actúan como inhibidores del desarrollo del micelio de los hongos y las mismas son eliminadas cuando las probetas son sometidas a lavado, por lo que se puede

afirmar que dichas maderas son aptas para la construcción, si se toma recaudos en los diseños de protección para evitar contacto directo con los agentes ambientales.

7. De los tres hongos bajo estudio *Laetiporus sanguineus*, en todos los casos en los que la madera fue sometida a ciclos de lavado, demostró mayor agresividad.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Area, M. C. 1996. Apuntes Curso Metodología de la Investigación: Diseños Experimentales. FEQyN. UNaM.

- Argüelles, T., Fernández, G. Potencial Citostático de un Exudado de Semillas de *Cedrela Fissilis* Vell. (Meliaceae) en Germinación. Dominguezia. PROCYP. Vol.17 – Nº 1 –2001. Programa de Investigación de Celulosa y Papel- Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales- Universidad Nacional de Misiones- Posadas.

- Argüelles, T., Agostini, P. Fernández, G. Estudio de las Propiedades Antimicrobianas de un Exudado de Semillas de *Cedrela Fissilis* Vell. Ivyraretá, número 10. Año 2000. ISIF (Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones.

- ASTM. Estandar D 143-52. Standard method of testing small clear specimen of timber. Reapproved. 1972. USA.

- Boelcke, O. Plantas vasculares de la Argentina, nativas y exóticas. 1992.

- Carballeira López; Sidney, Gonzalo & Milano. 1986. Manual de Preservación de Maderas. Vol. II, Capítulo 10. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo. Capítulo 10.
- Carnevale, J. Árboles Forestales- Descripción, cultivo y Utilización.
- Carvalho Ramalho, P. E. 1994. Especies florestais brasileiras. IPEF, San Pablo.
- Cavalcante, M. S.; Montagna, R. G.; Fosco Mucci, E. S. 1986. Durabilidad Natural de Maderas en Contacto con el suelo. Secretaría de Estado de Agricultura. Instituto Forestal. Boletín Técnico N° 29. San Pablo. Brasil.
- Cochran, W. G.; Cox, G. M. 1980. Diseños experimentales. Editorial Trillas. México. 661 ps.
- Crechi, E. 1984. Durabilidad Natural Relativa del Duramen de Maderas Misioneras. Secretaría General de Ciencia y Tecnología, UNaM.
- Dieringer, E.; Ibarra Zamudio, W.; Zoni, A. UNNE. 12 "Reunión de Comunicación Científica y Técnica" Pág. 89. Año 2000.
- Dimitri, J. Libro del Árbol, Tomo I, Esencias forestales indígenas de la Argentina de aplicación ornamental. Celulosa Argentina S.A. 1977.
- DIN N° 52186. (Deutsche Industrie Norm).
- Fernández, R.; Domecq, C.; Pahr, N; Lupi, A.; (INTA). Respuesta del Kiri a la Fertilización y al Encalado. Iyrraretá, número 8. Año 1997, páginas. 92 a 94. ISIF (Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones.

- García Sola, E. 1974. Diseño y Tecnología para viviendas de interés social. Dpto. de Física, Química y Geociencia, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste.
  
- Findlay, W. P. K. Convention: British Wood Preserving Association. 1951. "The value of laboratory test on wood preservatives".
  
- Gartland, H. M., Bohren, A. Ivyraretá, número 1. Año 1990. ISIF (Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales). Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Misiones.
  
- Giovanni, P. 1980. Guía de Hongos. Ediciones Grijalbo S.A. Barcelona. 523 ps.
  
- Gonzáles, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T. M.; Eskiviski, E. Estudio de las propiedades tecnológicas de las maderas de cinco especies forestales de interés industrial de Misiones, Argentina. Ivyraretá, número 11. Año 2003.
  
- IRAM. (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). 1962. Norma 9518.
  
- IRAM. (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Normas 9532, 9543, 9544.
  
- Keil Gabriel Darío "Determinación de la Durabilidad Adquirida a través de Métodos de Degradación Acelerada en Madera Endurecida de Álamo (*Populus deltoides* C.V Stoneville 66)". Año 2002.
  
- Lanzara, P.; Pizzetti, M. 1977. Guía de Árboles. Ediciones Grijalbo S.A. 300 ps.



- Leonardis, J. Libro del Árbol, Tomo III, Esencias forestales no autóctonas cultivadas en la Argentina de aplicación ornamental y/o industrial. Celulosa Argentina S.A. 1977.
  
- Manual del Grupo Andino para la Preservación de la Madera. Editado por el Proyecto de Promoción Industrial de la Madera para la Construcción, (Prid-Madera) Junta del Acuerdo de Cartajena. Año 1988.
  
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. 1996. Anales de la Administración Nacional de Bosques. 179 ps.
  
- Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables, Inventario Nacional de Bosques Nativos – Inventario Provincial de Bosques Cultivados. 2001. Dpto.: Aprovechamiento y Promoción Forestal. Posadas. Misiones. Argentina.
  
- Ottone, J. R., Carloni, C. 1996. Crecimiento y desarrollo de *Grevillea robusta* (Cunn), “Roble sedoso” en la República Argentina. Actas primer Congreso Argentino y Latinoamericano. Pp 152 – 158. Paraná. Entre Ríos. Argentina.
  
- Tinto, J. Aporte del sector forestal a la construcción de viviendas. 1978.
  
- Tinto, J. Manual para tratamiento de protectores de productos forestales. Consejo Federal de Inversiones. San Martín 871- Capital Federal.- Argentina.
  
- Toloza, R., Correa, M., Fernández, N. J. Evaluación del crecimiento de *Toona ciliata* bajo un monte nativo degradado. Acta X Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. 25 al 27 de Setiembre de 2003. FCF – INTA.
  
- Tortorelli, L. A. "Madera y Bosques Argentinos" Editorial Acme". Año: 1956

- Vizcarra Sanchez, J., Stehr, A., Lori, G. Enfermedad que afecta al cedro australiano *Toona ciliata* M. Roem en plantaciones de la provincia de Misiones. Ivyraretá, número 3. Año 1992. ISIF (Instituto Subtropical de Investigaciones Forestales). Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Misiones.

## ANEXOS

### A. Información base

Las tablas n° 20 a 25 presentan los valores de pérdida porcentual de peso, para cada una de las probetas ensayadas, separadas por especie, tipo de hongo y tratamiento recibido.

**Tabla n° 20 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo *Pycnoporus*, según especie maderera ensayada.**

Madera (Sp.)	Repetición	% Pérdida Total
Grevillea	1	27,706
Grevillea	2	22,415
Grevillea	3	30,888
Grevillea	4	30,011
Grevillea	5	21,030
Loro blanco	1	38,081
Loro blanco	2	28,311
Loro blanco	3	33,284
Loro blanco	4	35,232
Loro blanco	5	36,206
Kiri	1	15,173
Kiri	2	16,644
Kiri	3	11,702
Kiri	4	14,098
Kiri	5	16,112
Paraíso	1	37,809
Paraíso	2	30,455
Paraíso	3	40,154
Paraíso	4	36,244
Paraíso	5	32,790
Toona	1	3,078
Toona	2	3,437
Toona	3	2,554
Toona	4	1,719
Toona	5	3,037

**Tabla nº 21 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo *Laetiporus*, según especie maderera ensayada.**

<b>Madera (Sp.)</b>	<b>Repetición</b>	<b>% Pérdida Total</b>
Grevillea	1	27,448
Grevillea	2	24,410
Grevillea	3	24,450
Grevillea	4	21,166
Grevillea	5	25,725
Loro blanco	1	71,322
Loro blanco	2	68,704
Loro blanco	3	56,424
Loro blanco	4	42,519
Loro blanco	5	52,702
Kiri	1	16,650
Kiri	2	12,329
Kiri	3	14,267
Kiri	4	13,154
Kiri	5	19,249
Paraíso	1	58,169
Paraíso	2	56,545
Paraíso	3	57,645
Paraíso	4	52,800
Paraíso	5	55,909
Toona	1	7,813
Toona	2	6,474
Toona	3	8,668
Toona	4	7,061
Toona	5	8,003

**Tabla nº 22 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera lavada, hongo *Ganoderma*, según especie maderera ensayada.**

<b>Madera (Sp.)</b>	<b>Repetición</b>	<b>% Pérdida Total</b>
Grevillea	1	10,482
Grevillea	2	11,571
Grevillea	3	9,633
Grevillea	4	11,410
Grevillea	5	8,415
Loro blanco	1	18,098
Loro blanco	2	17,490
Loro blanco	3	18,097
Loro blanco	4	19,002
Loro blanco	5	22,509
Kiri	1	30,311
Kiri	2	37,979
Kiri	3	30,943
Kiri	4	38,267
Kiri	5	28,502
Paraíso	1	27,250
Paraíso	2	26,594
Paraíso	3	28,994
Paraíso	4	30,126
Paraíso	5	30,094
Toona	1	2,653
Toona	2	2,655
Toona	3	1,558
Toona	4	1,730
Toona	5	1,130

**Tabla nº 23 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo *Pycnoporus*, según especie maderera ensayada.**

<b>Madera (Sp.)</b>	<b>Repetición</b>	<b>% Pérdida Total</b>
Grevillea	1	21,976
Grevillea	2	25,659
Grevillea	3	21,437
Grevillea	4	25,172
Grevillea	5	18,707
Loro blanco	1	29,242
Loro blanco	2	27,424
Loro blanco	3	28,585
Loro blanco	4	30,619
Loro blanco	5	29,483
Kiri	1	11,455
Kiri	2	11,229
Kiri	3	10,762
Kiri	4	12,083
Kiri	5	9,177
Paraíso	1	33,488
Paraíso	2	37,232
Paraíso	3	28,200
Paraíso	4	34,911
Paraíso	5	32,093
Toona	1	1,592
Toona	2	1,505
Toona	3	1,393
Toona	4	1,697
Toona	5	1,228

**Tabla nº 24 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo *Laetiporus*, según especie maderera ensayada.**

Madera (Sp.)	Repetición	% Pérdida Total
Grevillea	1	8,318
Grevillea	2	5,181
Grevillea	3	4,035
Grevillea	4	7,487
Grevillea	5	4,302
Loro blanco	1	4,916
Loro blanco	2	2,861
Loro blanco	3	2,555
Loro blanco	4	4,850
Loro blanco	5	4,253
Kiri	1	10,886
Kiri	2	9,015
Kiri	3	12,108
Kiri	4	8,786
Kiri	5	8,803
Paraíso	1	51,833
Paraíso	2	55,539
Paraíso	3	48,208
Paraíso	4	45,912
Paraíso	5	46,370
Toona	1	1,989
Toona	2	1,435
Toona	3	1,552
Toona	4	1,969
Toona	5	1,285

**Tabla nº 25 Planilla base. Valores de pérdida porcentual de peso de madera natural, hongo *Ganoderma*, según especie maderera ensayada.**

<b>Madera (Sp.)</b>	<b>Repetición</b>	<b>% Pérdida Total</b>
Grevillea	1	2,071
Grevillea	2	3,600
Grevillea	3	1,570
Grevillea	4	1,927
Grevillea	5	2,356
Loro blanco	1	8,546
Loro blanco	2	6,887
Loro blanco	3	4,595
Loro blanco	4	7,782
Loro blanco	5	5,169
Kiri	1	29,943
Kiri	2	29,664
Kiri	3	34,722
Kiri	4	28,966
Kiri	5	24,231
Paraíso	1	24,794
Paraíso	2	23,981
Paraíso	3	22,618
Paraíso	4	28,822
Paraíso	5	28,397
Toona	1	1,212
Toona	2	1,341
Toona	3	0,751
Toona	4	0,851
Toona	5	1,028



## B. Procesamiento estadístico

Las tablas nº 26 a 28 presentan medias, desvíos estándares y coeficientes de variación de los valores de pérdida porcentual de peso considerando las tres interacciones, a saber: tratamiento – hongo – madera.

### 1. Medias, interacción: tratamiento – hongo – madera

Tabla nº 26 Medias de pérdida porcentual de peso, según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada.

Interacción	% Pérdida
Lavada Laetiporus Loro blanco	58,33413315
Lavada Laetiporus Paraíso	56,21352768
Natural Laetiporus Paraíso	49,57242584
Lavada Pycnopus Paraíso	35,49031448
Lavada Pycnopus Loro blanco	34,22274780
Lavada Ganoderma Kiri	33,20032120
Natural Pycnopus Paraíso	33,18479538
Natural Ganoderma Kiri	29,50521851
Natural Pycnopus Loro blanco	29,07048988
Lavada Ganoderma Paraíso	28,61156273
Lavada Pycnopus Grevillea	26,41000366
Natural Ganoderma Paraíso	25,72260666
Lavada Laetiporus Grevillea	24,63978195
Natural Pycnopus Grevillea	22,59025764
Lavada Ganoderma Loro blanco	19,03932953
Lavada Laetiporus Kiri	15,12978935
Lavada Pycnopus Kiri	14,74558735
Natural Pycnopus Kiri	10,94113159
Lavada Ganoderma Grevillea	10,30215073
Natural Laetiporus Kiri	9,91941929
Lavada Laetiporus Toona	7,60384989
Natural Ganoderma Loro blanco	6,59573984
Natural Laetiporus Grevillea	5,86445284
Natural Laetiporus Loro blanco	3,88684011
Lavada Pycnopus Toona	2,76467562
Natural Ganoderma Grevillea	2,30494142
Lavada Ganoderma Toona	1,94515681
Natural Laetiporus Toona	1,64612043
Natural Pycnopus Toona	1,48290145
Natural Ganoderma Toona	1,03673029

La interacción tratamiento, hongo, madera es altamente significativa como lo denota la el informe estadístico:  $F(8,120)=27,48$ ;  $p<,0000$ .

## 2. Desvío Estándar. Interacción: tratamiento – hongo – madera

Siendo importante además en todo análisis el conocimiento del desvío estándar, se procede a presentar los mismos en la tabla nº 27.

**Tabla nº 27. Desvíos estándares de pérdida porcentual de peso según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada.**

Interacciones	% Pérdida
Lavada Laetiporus Loro blanco	11,8500977
Lavada Ganoderma Kiri	4,58310747
Lavada Pycnoporus Grevillea	4,46114874
Natural Laetiporus Paraíso	4,06912708
Lavada Pycnoporus Paraíso	3,88401008
Lavada Pycnoporus Loro blanco	3,73060322
Natural Ganoderma Kiri	3,72596431
Natural Pycnoporus Paraíso	3,37266588
Natural Pycnoporus Grevillea	2,86633635
Lavada Laetiporus Kiri	2,81828833
Natural Ganoderma Paraíso	2,75167251
Lavada Laetiporus Grevillea	2,30305791
Lavada Laetiporus Paraíso	2,10512018
Lavada Ganoderma Loro blanco	2,01338124
Lavada Pycnoporus Kiri	1,95816982
Natural Laetiporus Grevillea	1,93069959
Natural Ganoderma Loro blanco	1,68339086
Lavada Ganoderma Paraíso	1,62468982
Natural Laetiporus Kiri	1,50617981
Lavada Ganoderma Grevillea	1,31149554
Natural Pycnoporus Loro blanco	1,17737603
Natural Laetiporus Loro blanco	1,11196709
Natural Pycnoporus Kiri	1,09500933
Lavada Laetiporus Toona	0,85250777
Natural Ganoderma Grevillea	0,77747476
Lavada Ganoderma Toona	0,68296218
Lavada Pycnoporus Toona	0,66380757
Natural Laetiporus Toona	0,31840688
Natural Ganoderma Toona	0,24465449
Natural Pycnoporus Toona	0,18133004

### 3. Coeficiente de variación.

#### Interacción: tratamiento – hongo – madera

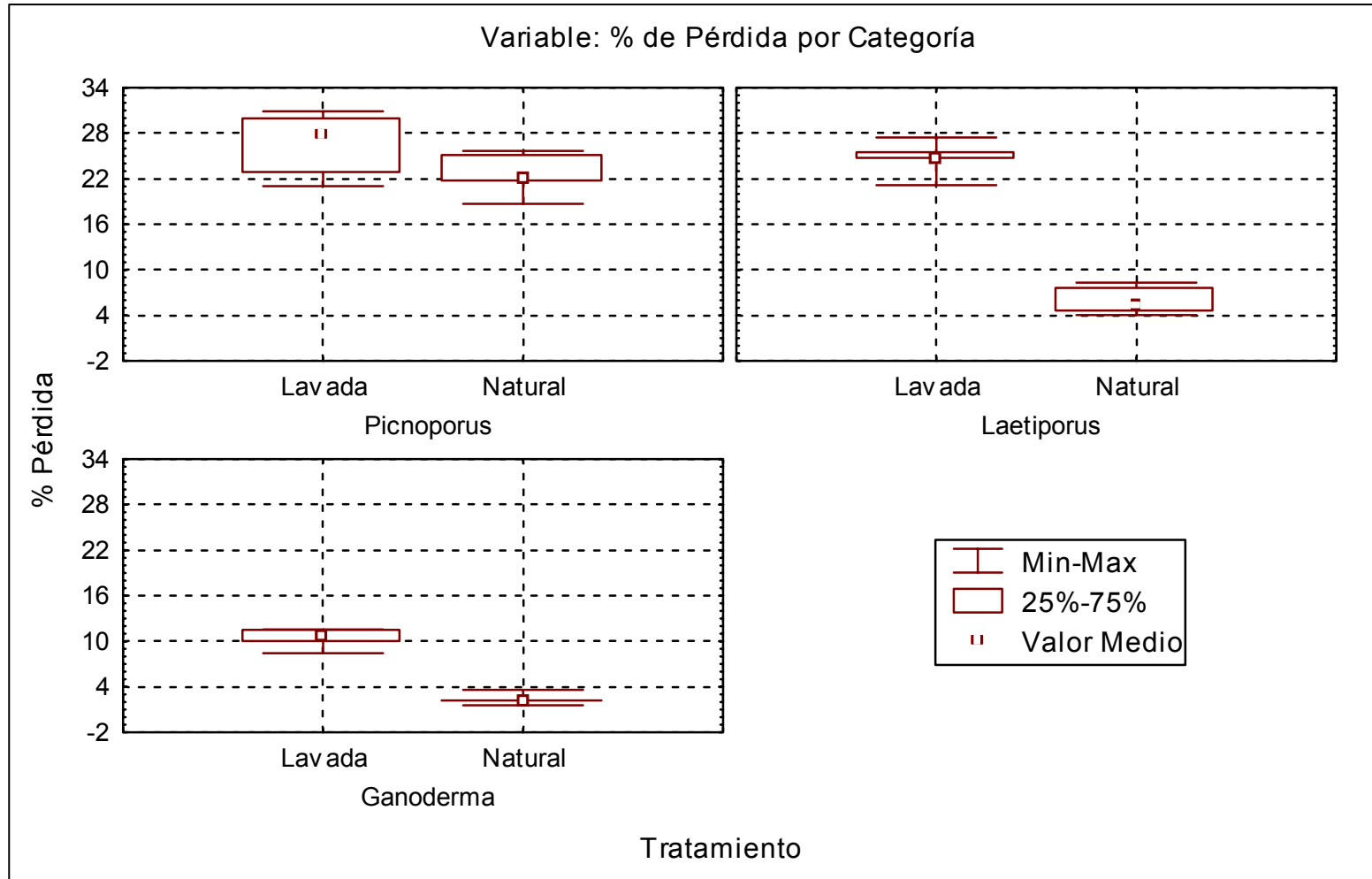
En tabla nº 28 se procede a presentar, en orden decreciente, el coeficiente de variación correspondiente a las tres interacciones analizadas.

**Tabla nº 28. Coeficiente de variación de pérdida porcentual de peso según tratamiento, hongo y especie maderera ensayada.**

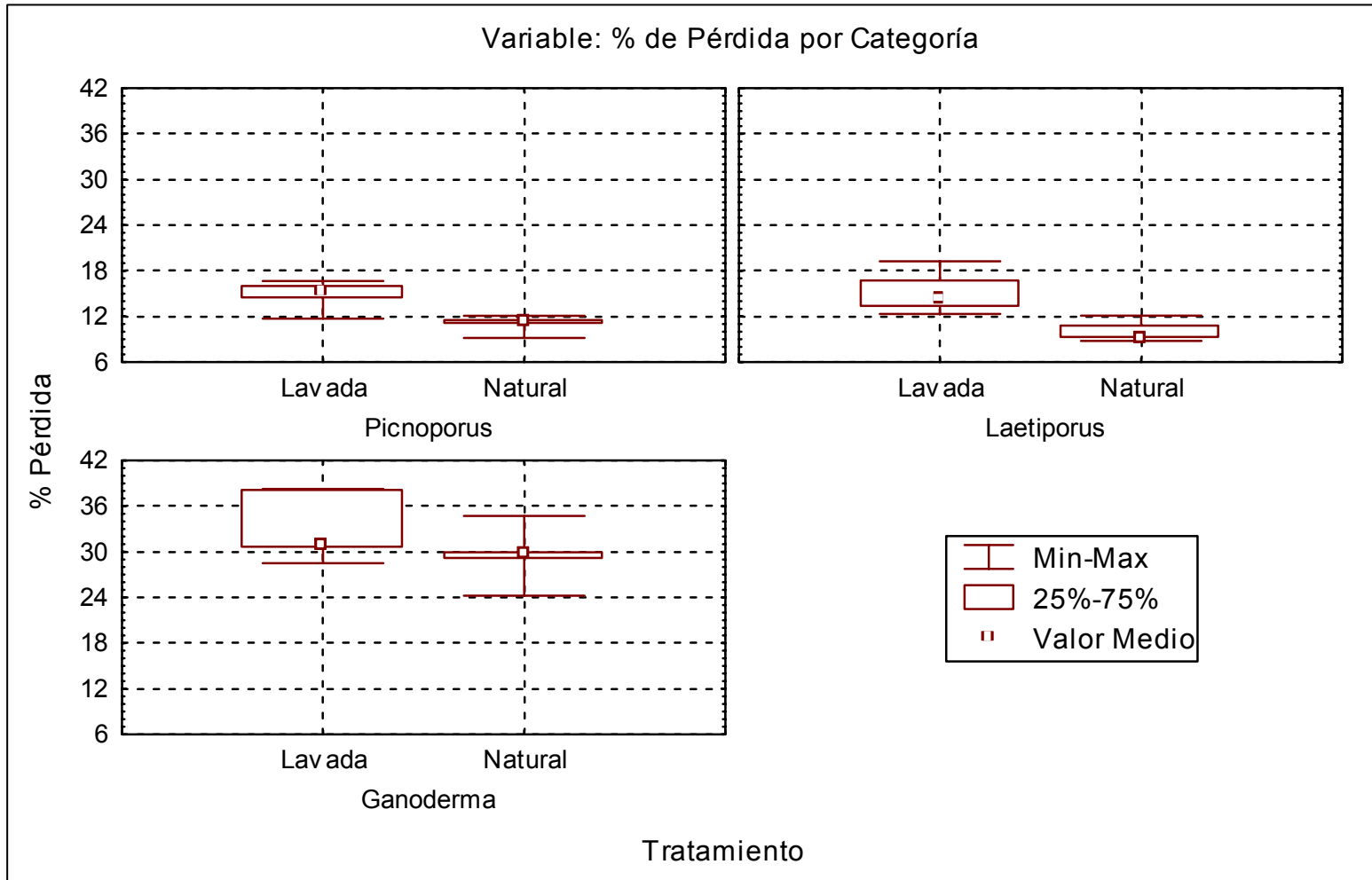
<b>Interacciones</b>	<b>Coeficiente de Variación</b>
Lavada Ganoderma Toona	35,11090596
Natural Ganoderma Grevillea	33,73078186
Natural Laetiporus Grevillea	32,92207542
Natural Laetiporus Loro blanco	28,60851120
Natural Ganoderma Loro blanco	25,52239622
Lavada Picnoporus Toona	24,01032392
Natural Ganoderma Toona	23,59866342
Lavada Laetiporus Loro blanco	20,31417460
Natural Laetiporus Toona	19,34286668
Lavada Laetiporus Kiri	18,62741285
Lavada Picnoporus Grevillea	16,89188989
Natural Laetiporus Kiri	15,18415308
Lavada Ganoderma Kiri	13,80440702
Lavada Picnoporus Kiri	13,27970037
Lavada Ganoderma Grevillea	12,73030824
Natural Picnoporus Grevillea	12,68837386
Natural Ganoderma Kiri	12,62815358
Natural Picnoporus Toona	12,22805734
Lavada Laetiporus Toona	11,21152814
Lavada Picnoporus Paraíso	10,94385928
Lavada Picnoporus Loro blanco	10,90094588
Natural Ganoderma Paraíso	10,69748701
Lavada Ganoderma Loro blanco	10,57485370
Natural Picnoporus Paraíso	10,16328666
Natural Picnoporus Kiri	10,00819081
Lavada Laetiporus Grevillea	9,34690864
Natural Laetiporus Paraíso	8,20844858
Lavada Ganoderma Paraíso	5,67843788
Natural Picnoporus Loro blanco	4,05007290
Lavada Laetiporus Paraíso	3,74486404

### **C. Comparación de medias por categoría**

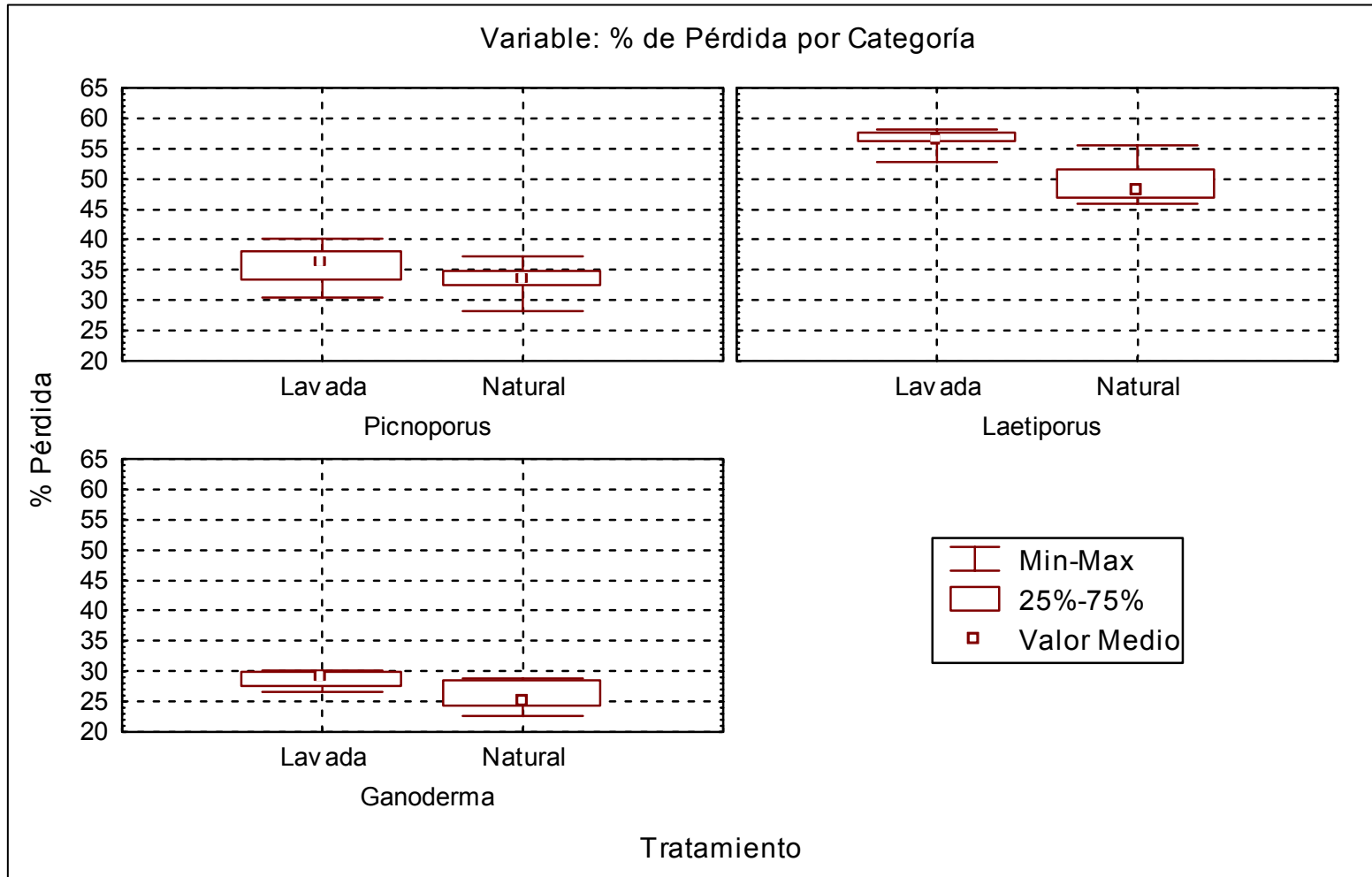
En las gráficas 9 a 12 se presenta la comparación de medias según tratamiento y hongo, por especie maderera: Grevillea, Kiri, Paraíso y Toona



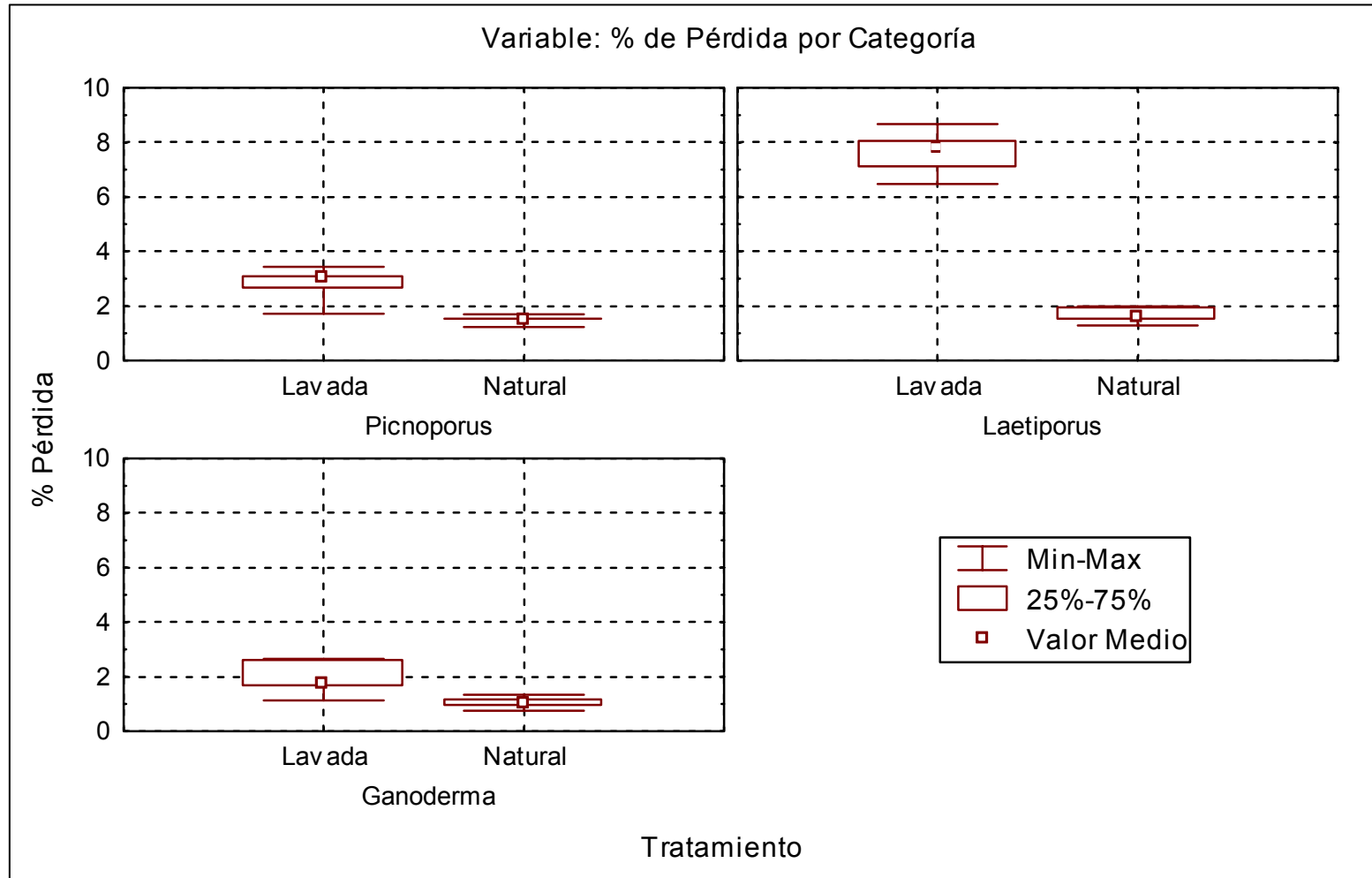
Gráfica n ° 9. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Grevillea.



Gráfica n ° 10. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Kiri.



Gráfica n ° 11. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Paraíso.



Gráfica n ° 12. Comparación de medias por categoría. Especie maderera Toona.