

# **COMPORTAMIENTO DE MADERA PINUS ELLIOTTI POR IMPREGNACIÓN CON ANHÍDRIDO ACÉTICO**

Directora: Dra. Guadalupe Canosa

Alumna: Nadia Gabalec

Colaboradoras: Julieta Espinosa

Nadia Girod

## RESUMEN

La madera modificada es el resultado de una interacción entre la madera y un agente químico, biológico o físico, que permite, sin adicionar un biocida, mejorar alguna de sus propiedades durante la vida de servicio del material. Así, mientras el principal resultado de un protector tradicional es la mejora de la durabilidad de la madera, en el caso de la madera modificada se obtiene un nuevo material con propiedades diferentes. Uno de los objetivos de la madera modificada es alterar la estructura molecular de los componentes de la pared celular de la madera y, en concreto, transformar los grupos hidroxilos (-OH) que desempeñan un papel esencial en los fenómenos de hinchazón y merma, en nuevos radicales de mayor tamaño y menor higroscopicidad.

Los fenómenos de hinchazón y merma de la madera se producen porque los componentes de la pared celular contienen, entre otros, grupos hidroxilos capaces de fijar las moléculas de agua existentes en el ambiente a través de enlaces de puente de hidrógeno. De esta forma, es posible mejorar considerablemente la estabilidad dimensional y, en muchos casos, incrementar su durabilidad. Una técnica de tratamiento químico de la madera es sustituir estos grupos por otros de mayor masa molecular, como los acetilos.

En nuestro caso vamos a desarrollar cómo la acetilación en maderas mejora la higroscopicidad de la misma y, al mismo tiempo, cómo modifica su comportamiento frente a la acción del fuego.

## INTRODUCCIÓN

A través de los años la madera ha recobrado un papel fundamental en las actividades cotidianas del ser humano, convirtiéndose así uno de los principales recursos naturales, que gracias a los avances en la tecnología, ha podido suplir cientos de necesidades básicas como son, proveer al hombre de albergue, combustible y transporte, por nombrar algunos ejemplos.

Entre los beneficios que podemos nombrar por los cuales es importante, la madera como tal se usa extensamente en las industrias químicas a causa de sus propiedades físicas y mecánicas, tiene un precio razonable, es fuerte, puede trabajarse sencillamente, es un buen aislante térmico y eléctrico y tiene un coeficiente elevado peso/resistencia. Como materia prima química, la madera puede usarse para obtener muchos productos de gran valor. Además, a diferencia de la mayor parte de las materias primas, la madera es un recurso renovable. Sin embargo, dado que es un material de origen orgánico tiene menor durabilidad que otros materiales.

## COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

Las maderas, al igual que cualquier sustancia de origen natural orgánico, están formadas por 50% de Carbono, 42% de Oxígeno, 6% de Hidrógeno y 2% de Nitrógeno, principalmente, además de otros elementos inorgánicos como Fósforo, Sodio o Calcio. En cuanto a los componentes moleculares contiene:

- Celulosa (50%): es un hidrato de carbono que se descompone rápidamente con la humedad, pero es inalterable en ambiente seco.
- Lignina (20%): no se conoce con exactitud su composición química, pero es la sustancia que actúa como cementante, endureciendo la madera.
- Hemicelulosa (20% aproximadamente): es la responsable de la unión fibrosa en la madera, sin influir en la dureza ni en las propiedades mecánicas. Son fácilmente atacables por los hongos.
- Otras (10%): como colorantes, resinas, almidón, taninos, oleínas, azúcares, etc.

En cualquier caso, las composiciones dadas pueden variar de un tipo de madera a otra en mayor o menor medida, dependiendo del tipo de árbol y de las condiciones de crecimiento.

## AGENTES DEGRADANTES

Son todas las causas que directa o indirectamente intervienen en el deterioro o alteración de las propiedades físico-mecánicas de la madera.

La madera como material de origen orgánico, sufre el ataque de organismos vivos, que cuando encuentran las condiciones adecuadas para desarrollarse, pueden llegar a destruirla totalmente pudiendo degradarse por acción de un solo factor, pero a su vez es posible que éste facilite la acción de otros agentes, que se sumen y potencien entre sí.

Los agentes degradantes pueden clasificarse en:

### 1. Abióticos:

- Radiación Solar
- Agua
- Fuego
- Agentes Químicos
- Esfuerzos mecánicos

### 2. Bióticos:

- Moho

- Hongos
- Insectos

A continuación desarrollamos en mayor detalle de qué se tratan estos factores.

## 1. FACTORES ABIÓTICOS

- **Radiación solar**

**Radiación ultravioleta.** Su acción se centra en la superficie, quedando fibrosa y deshilachada. Así resulta más susceptible al ataque de la humedad y al deterioro producido por el polvillo que arrastra el viento. Se forma una capa exterior característica, de color gris o ceniza.

Cualquier madera sin proteger adquiere esta capa, pero la penetración es muy superficial y desaparece con un cepillado.

**La radiación infrarroja (luz visible).** Produce el calentamiento de la zona donde incide sin quemarla, originando una pérdida de humedad superficial, y así provocando un gradiente de humedad entre la superficie y el interior. Esto se traduce en tensiones internas entre la superficie, que tenderá a contraerse al disminuir su contenido de humedad por la acción del calor, y el interior que no se lo permite, lo que favorece a la aparición de micro grietas. Éstas exponen la madera a la humedad y a otros agentes destructores.

- **Agua.** Una de las principales causas del deterioro superficial de la madera se debe a los cambios rápidos del contenido de humedad en la capa externa.

La diferencia de humedad entre el interior y la capa superficial que tenderá a hinchar, provoca un estado de tensiones en la pieza, que si no está equilibrado origina grietas, que favorecen el ataque de factores bióticos.

- **Fuego.** Para hablar del comportamiento de la madera frente al fuego primero tenemos que diferenciar las dos fases que se pueden distinguir cuando se da un incendio. La primera fase es la de desarrollo inicial y la segunda la de continuidad (en pleno desarrollo).

En la fase inicial influyen en alto grado factores como la combustibilidad del material, la facilidad de ignición y el avance de la llama en la superficie de los materiales. En esta fase es deseable que los materiales no favorezcan estos factores. En la fase de pleno desarrollo es preferible que los materiales que delimitan la zona del incendio impidan el paso de las llamas y el calor durante el mayor tiempo posible para evitar la propagación.

Realmente el comportamiento de la madera frente al fuego es bastante bueno. Pocas veces un incendio será iniciado por la combustión de madera ya que son necesarias altas temperaturas (cerca de 400 °C) para que inicie su combustión. Cuando la madera se ve expuesta a un incendio en fase de pleno desarrollo también tiene una respuesta buena. La capa más superficial se carboniza rápidamente creando una capa de madera carbonizada que aumenta en 6 veces su capacidad aislante; éste hecho provoca que las zonas interiores se mantengan muy protegidas. Cuando sucede esto, la madera interna mantiene constantes sus características mecánicas. Sin embargo, lo que perjudica su capacidad portante es la pérdida de sección de la zona carbonizada.

Una ventaja adicional de este material es que si llega a sobrepasar su límite de resistencia, usualmente la madera no colapsa abruptamente como el metal, sino que va cediendo de manera lenta y el típico crujido "avisa" sobre la cercanía del derrumbe.

- **Agentes químicos.** La madera es resistente a muchos compuestos químicos. Esto la transforma en el material adecuado para construir edificios expuestos a productos químicos que tengan cierto grado de agresividad. Un caso típico son las construcciones cercanas al mar.

Los compuestos químicos pueden modificar la resistencia de la madera de dos formas distintas: aumentando el volumen por aumento del contenido de humedad o bien, produciendo un cambio permanente e irreversible en la estructura de la madera debido a la modificación de alguno de sus componentes. Dentro de los productos químicos que pueden deteriorarla, las soluciones alcalinas son más destructivas que las ácidas.

Los álcalis por un lado hacen solubles o hidrofílicos a la mayoría de los extractivos de la madera, y además hinchan considerablemente el material, aumentando el tamaño de los microcapilares, haciendo más rápida, no solo la impregnación, sino posteriormente la difusión de los fragmentos degradados hacia el exterior.

- **Esfuerzos mecánicos.** Los esfuerzos mecánicos también pueden ser motivo de la degradación de la madera, pueden provocar fatiga y pérdida de resistencia de la misma. El continuo uso y rozamiento pueden producir a su vez, deformaciones y desgaste en las estructuras.

## 2. FACTORES BIÓTICOS

Los mohos, hongos e insectos se denominan agentes xilófagos, ya que se alimentan de los compuestos de la madera, causando su degradación. Las maderas varían considerablemente en su resistencia a la pudrición: algunas maderas cuentan con componentes que representan un

rechazo natural para los insectos xilófagos. Sin embargo, la mayoría de ellas en su estado natural tienden a sufrir ataques y ser progresivamente destruidas por dichos agentes. En general, estos ataques son propiciados en zonas donde se encuentra la madera y existe un contenido de humedad que oscila entre 18 al 20%, comenzando con ataques de hongos en lugares donde el material permanece por largo tiempo.

- **Moho.** No altera las propiedades mecánicas de la madera, pero crea las condiciones necesarias para el desarrollo de los hongos de pudrición. El moho se detecta cuando se forman esporas en la superficie de la madera (color oscuro) o cuando en la superficie se forma una especie de pelusa.

- **Hongos.** Las condiciones favorables para su reproducción varían para cada especie, pero como regla general, el frío o calor extremos son condiciones en las que el hongo no puede subsistir, de hecho, los hongos necesitan que la madera tenga más del 20% de humedad para prosperar, aunque ésta tampoco debe ser excesiva. Los hongos que atacan la madera se pueden dividir en dos grandes grupos: los xilófagos que "devoran" la madera degradándola y los cromógenos, que más bien tiñen la madera, afectando principalmente su aspecto estético.

- Hongos Xilófagos (de pudrición). Es el grupo más importante. Literalmente se "alimentan" de madera. Los hongos en su gran mayoría suelen atacar zonas vivas con alto contenido de azúcares y almidones, como lo es la albura.

- Hongos Cromógenos. Dan lugar a la variación de color, pero no afectan en forma significativa la resistencia de la madera. En el caso específico de los pinos generan la que se denomina "mancha azul". Si bien la mancha azul no afecta sustancialmente la estructura de la madera, disminuye la velocidad del secado y la madera se hace más susceptible a la pudrición. Por lo tanto, debemos considerar el azulado de la madera como una advertencia para evitar problemas mayores.

- **Insectos.** Los agujeros característicos (grandes o pequeños) que se observan en la madera son siempre de salida del insecto, no de entrada como generalmente se cree. Esto significa que cuando se observan los agujeros, en el interior de la madera con seguridad ya se ha producido un importante daño.

## TRATAMIENTO EN MADERAS

La madera es un material delicado, aunque hoy en día existen tratamientos muy eficaces que logran atenuar las desventajas nombradas anteriormente y logran que la misma adquiera mejores propiedades mecánicas y mayor durabilidad.

La protección que puede recibir para reducir las consecuencias por la exposición a los factores antes mencionados, puede ser variada y distinta de acuerdo al uso que ésta reciba y el medio al cual está expuesta.

En el mercado existe una gran variedad de productos para la protección y mantenimiento de las maderas. De acuerdo al modo en que la protección es aplicada, se pueden agrupar en dos categorías: por impregnación o por cubierta superficial.

La impregnación de la madera consiste en la saturación de sus fibras con una mezcla química, con el objeto de protegerla contra organismos destructores y de esta forma prolongar la vida útil y su resistencia.

En el segundo caso, el tratamiento por cubierta superficial se aplica mediante pincel, brocha o rodillo con un protector que generalmente es en base orgánica o al disolvente. El producto penetra en la madera por el fenómeno de la capilaridad en los poros de la madera. Sin embargo, este tipo de protección puede alcanzar sólo hasta alrededor de los 3 mm de espesor de la madera, a diferencia del tratamiento anterior cuya penetración es mayor.

Entre las posibilidades de protección superficial podemos nombrar dos: aquellos con un acabado transparente, es decir, una protección que deje que se siga viendo la madera, o uno cubriente, que por su opacidad tapará la madera.

En este trabajo se desarrollará cómo influye el impregnado con anhídrido acético en la madera Pino Elliotti, para analizar si existe protección frente al fenómeno de humedad y exposición al fuego.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **MATERIALES**

Se emplearon 16 probetas de dimensiones 15x1x1 cm y 18 de dimensiones 1x1x1 cm, ambas de madera cuyo nombre científico es *Pinus Elliottii* o más comúnmente conocida como Pino Elliotti.

El Pino Elliotti es un pino nativo del sudeste de Estados Unidos. Es de rápido crecimiento, no vive mucho para los estándares de los pinos (más de 200 años), y prefiere climas y suelos húmedos. En nuestro país, su área de dispersión puede situarse en Misiones, Corrientes o Entre Ríos.

Suele tener un diámetro de 0,4 metros y una densidad de 510 kg/m<sup>3</sup>, clasificándose así como una madera de densidad entre media y baja. Debido a esta última característica es que puede justificarse su impregnación en condiciones normales sin la aplicación de presiones de vacío.

Para la acetilación se utilizó anhídrido acético marca Sigma-Aldrich con pureza mayor o igual a 99%.

## MÉTODOS

### ▪ Impregnación

En primer lugar se pesaron las muestras sin impregnar y se llevaron a estufa durante 15 días a 80°C hasta lograr un peso constante de las muestras. Transcurrido ese tiempo, se retiraron de la estufa y se las pesó nuevamente. A continuación se desarrolló el impregnado de las muestras. Las mismas se introdujeron en un frasco con anhídrido acético, el cual se tapó y se colocó en estufa durante dos días a 120°C. Transcurridos los dos días, las muestras se quitaron de la estufa y se pesaron nuevamente. Finalmente, fueron sometidas a 90°C durante 24 horas y se anotó el peso resultante al final del ensayo.

La retención del impregnante se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% R = \frac{W_i - W_0}{W_0} \times 100$$

Donde  $W_i$  es el peso de la muestra impregnada y  $W_0$  es el peso de la muestra sin impregnar.

### ▪ Microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM Scanning Electron Microscope)

El funcionamiento de este equipo se basa en barrer un haz de electrones sobre un área del tamaño deseado, mientras en un monitor se visualiza la información seleccionada. Esta herramienta crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto. La muestra generalmente se recubre con una capa de carbono o una capa delgada de un metal, como el oro en nuestro caso, para darle carácter conductor. Posteriormente, se barre la superficie con electrones acelerados que viajan a través del cañón.

Este es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de sólidos inorgánicos y orgánicos entregando información morfológica del material analizado. Tiene una



gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra.

- **Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR)**

Este método brinda una gran cantidad de información relacionada con la conformación molecular, estructura cristalina (polimorfismo) y la naturaleza de los puentes de hidrógeno en la celulosa (que dan origen a su estructura supramolecular).

Por otra parte, este método es simple, directo, flexible y especialmente adecuado para el estudio de la celulosa y sus derivados ya que permite el estudio de superficies in situ.

La técnica consiste en el paso de un haz de radiación infrarroja (IR) a través de un cristal transparente al IR y de alto índice de refracción, sobre el que está colocado la muestra previamente aserrada. En su paso a través del cristal, el haz IR incidente se refleja varias veces y la superficie de la muestra absorbe parte de la radiación a frecuencias características. Así es que, un requerimiento de vital importancia es que haya el contacto adecuado entre el cristal y la muestra.

- **Ángulo de contacto**

El ángulo de contacto se refiere al ángulo que forma la superficie de un líquido al entrar en contacto con un sólido. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas adhesivas entre el líquido y el sólido y las fuerzas cohesivas del líquido. Cuando las fuerzas adhesivas con la superficie del sólido son muy grandes en relación a las fuerzas cohesivas, el ángulo de humectancia es menor de 90 grados sexagesimales, teniendo como resultado que el líquido moja la superficie.

El objetivo de realizar este ensayo consiste en analizar la hidrofobicidad de la superficie de la madera tratada para comprobar si existe una reducción en la absorción de agua.

En nuestro caso empleamos un Goniómetro marca Ramé-Hart modelo 500 (INIFTA, UNLP) y las imágenes fueron analizadas con el programa DROPimage Advanced v2.2.

El material o la superficie a caracterizar se colocaron sobre la plataforma, donde se depositó una gota de agua destilada. El equipo consta de un foco de luz situado en un extremo, mientras que en el otro se sitúa la cámara de video. La imagen obtenida corresponde a una imagen negra u oscura que corresponde con la gota con fondo blanco.

El software marca los puntos de contacto de los ángulos  $\theta$  derecho e izquierdo de la línea base de la gota y los registra. Cada dato de ángulo de contacto determinado es el resultado del promedio de 13 medidas de ángulos de contacto estáticos medidos tanto en la zona derecha como izquierda de la gota formada sobre la superficie en estudio. Los ángulos de contacto fueron determinados a temperatura ambiente.

- **Análisis termogravimétrico (TGA)**

Es una medida de la variación de la masa de una muestra cuando es sometida a un programa de temperatura en una atmósfera controlada. Puede deberse a una pérdida o una ganancia de masa lo que origine su variación.

Para el ensayo se utilizó el equipo TG-Shimadzu 50 del Laboratorio de Técnicas de Análisis Térmico (LATAT) del Instituto de Física La Plata, UNLP. El ensayo se realizó en atmósfera de nitrógeno hasta alcanzar una temperatura de 700 °C y con una velocidad de calentamiento de 10 °C/minuto.

- **Ensayo intermitente de fuego**

Mediante este ensayo se busca comparar el comportamiento de las maderas tratadas con anhídrido acético frente a los blancos para estimar si existen retardos en el avance de la llama para aquellas muestras que fueron impregnadas.

El ensayo propuesto se llevó a cabo haciendo incidir las muestras a un mechero Bunsen, colocadas previamente en un soporte, en períodos de 20 segundos. Finalizado este tiempo, se las retiró de la llama para observar cómo avanzaba la misma en la probeta y de esta manera comprobar si los tiempos de avance se retardan en el caso de la madera tratada.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El nivel de retención promedio alcanzado por las muestras impregnadas con anhídrido acético fue de 24,47%.

En las siguientes imágenes podemos observar los resultados obtenidos por el microscopio electrónico de barrido electrónico para distintas magnificaciones, que son 750x, 1500x y 3000x, respectivamente para el lado izquierdo los blancos y a la derecha la madera acetilada.

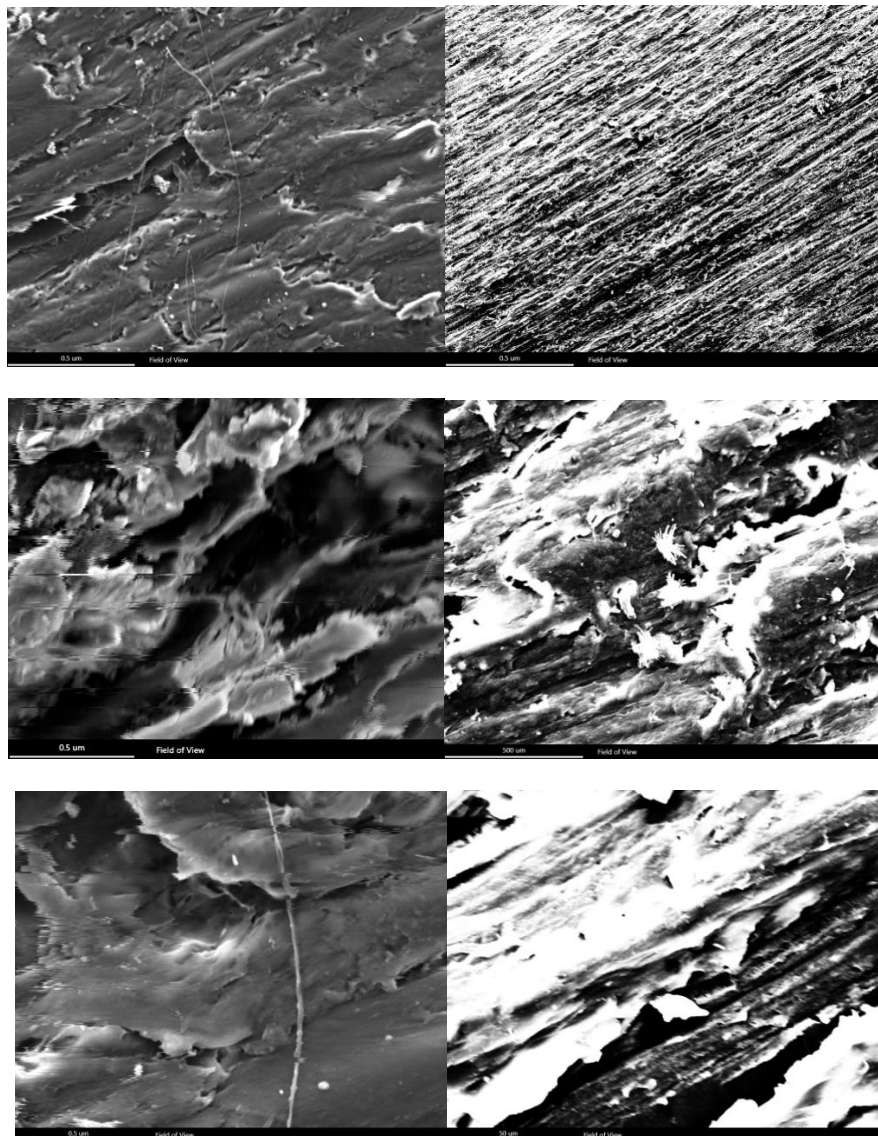


Figura 1. Imágenes obtenidas de SEM

Mediante estas imágenes fue posible concluir que al momento de comparar los blancos y las muestras impregnadas, el anhídrido acético sí produjo una interacción en las características estructurales de la madera. Lo que sucede es que el anhídrido acético reacciona con la madera reemplazando los grupos hidroxilo de la celulosa con grupos acetilo. [1]

A continuación analizando el gráfico 1, podemos comparar los espectros de FTIR de la madera sin tratar y la muestra acetilada:

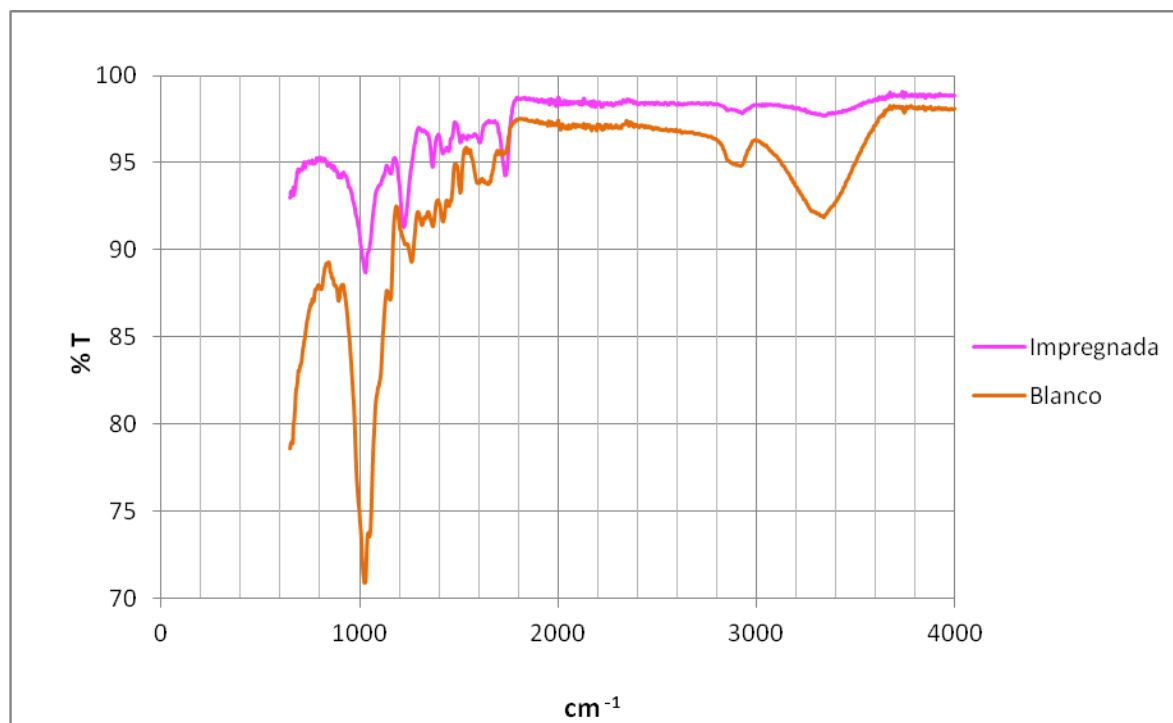


Gráfico 1. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier

Analizando los espectros se encontró en primer lugar que la madera sin tratar presenta picos en  $1020\text{ cm}^{-1}$ ,  $1390\text{ cm}^{-1}$ ,  $1600\text{ cm}^{-1}$ ,  $2900\text{ cm}^{-1}$ ,  $3300\text{ cm}^{-1}$ .

Por otro lado, para la madera tratada se observan vibraciones en  $1020\text{ cm}^{-1}$ ,  $1210\text{ cm}^{-1}$ ,  $1750\text{ cm}^{-1}$ ,  $2900\text{ cm}^{-1}$ ,  $3330\text{ cm}^{-1}$ .

De acuerdo a la bibliografía consultada, los espectros característicos de celulosa se pueden ubicar con facilidad en las bandas de vibración de enlaces C–H<sub>2</sub> ( $2918$ ,  $2851$ ,  $1427$  y  $1315\text{ cm}^{-1}$ ), C–H ( $1360$  y  $1280\text{ cm}^{-1}$ ), C–O ( $1054$  y  $1030\text{ cm}^{-1}$ ), C–O–C ( $1160\text{ cm}^{-1}$ ) y O–H (banda ancha entre  $3600$  y  $3200\text{ cm}^{-1}$ , así como bandas en  $1335$  y  $1205\text{ cm}^{-1}$ ). A  $898\text{ cm}^{-1}$  se tiene la vibración del grupo del carbono anomérico de carbohidrato, C1–H, y en  $1635\text{ cm}^{-1}$  la banda correspondiente a agua adsorbida. [2]

Al comparar ambas muestras se pudo concluir que si bien se siguen observando las bandas características de la madera sin tratar, en la madera acetilada desapareció el pico de  $3300\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a los grupos hidroxilos (como era de esperar ya que estos han sido sustituidos por acetilos). Por otra parte y de acuerdo a los resultados esperados, aparecen picos en  $1220$  y  $1750\text{ cm}^{-1}$  correspondientes al acetilo. Los picos típicos de la celulosa siguen siendo observados pero en el caso de la madera acetilada, estos son menos pronunciados.

A continuación se muestran las fotos del ensayo de ángulo de contacto obtenidas en el goniómetro. Las muestras de la izquierda corresponden a los blancos mientras que las de la derecha a la madera tratada.

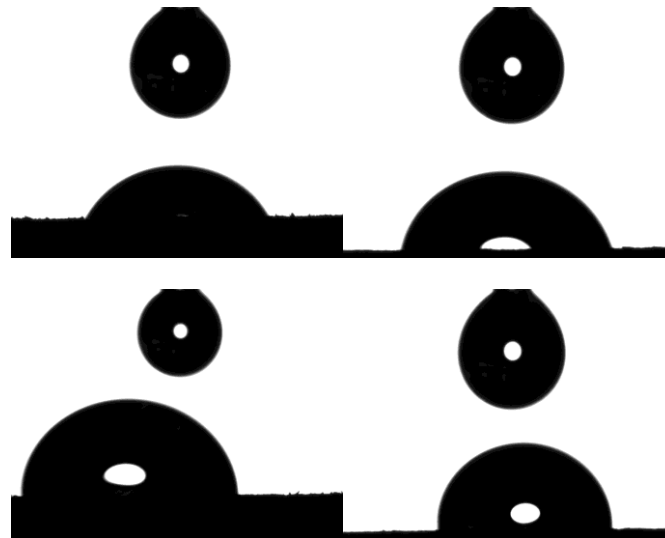


Figura 2. Fotos del ensayo en Goniómetro

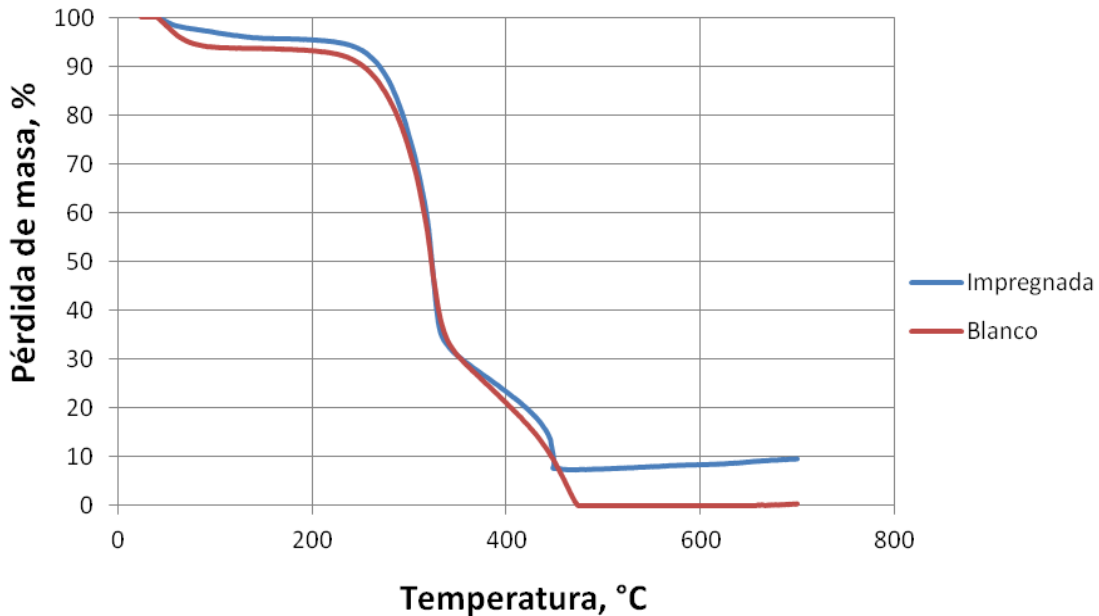
Los resultados obtenidos para la muestra acetilada fueron los siguientes:

Drop phase	: Water	Density	: 0.9987						
Extern.phase	: Air	Density	: 0.0013						
No.	Time	Theta(R)	Theta(L)	Mean	Dev.	Height	Width	Area	Volume
1	0.0	53.34	66.30	59.82	6.48	0.218	2.378	0.00	0.00
2	0.9	60.02	128.02	94.02	34.00	0.210	2.334	0.00	0.00
3	2.0	48.85	104.40	76.63	27.77	0.208	3.841	0.00	0.00
4	2.9	41.56	117.03	79.30	37.73	0.204	3.876	0.00	0.00
5	4.0	50.32	142.31	96.31	46.00	0.199	3.726	0.00	0.00
6	4.9	46.83	92.58	69.71	22.87	0.202	3.725	0.00	0.00
7	5.9	45.47	146.75	96.11	50.64	0.204	3.620	0.00	0.00
8	7.0	45.04	63.94	54.49	9.45	0.206	3.806	0.00	0.00
9	7.9	42.32	74.29	58.31	15.99	0.205	3.793	0.00	0.00
10	8.9	27.24	155.39	91.31	64.07	0.204	0.406	0.00	0.00
11	9.9	35.94	133.34	84.64	48.70	0.202	3.600	0.00	0.00
12	11.0	53.35	134.94	94.15	40.80	0.203	3.691	0.00	0.00
13	12.0	38.35	83.58	60.96	22.62	0.203	3.867	8.67	0.35
Mean:	45.28	110.99	78.13	32.86	0.205	3.282	0.67	0.03	
Stand.dev.:		2.36	8.89	4.41	4.78	0.001	0.281	0.67	0.03

Finalmente se pudo concluir que el ángulo obtenido entre el agua y la probeta es mayor en el caso de la madera sin tratar, siendo en este caso de 119° en comparación con 78° como se muestra anteriormente.

Esta reducción en el ángulo de contacto en la madera tratada permite afirmar que se produce un incremento en la hidrofobicidad en la probeta acetilada con respecto a la madera sin tratar. Su explicación se debe a que al saturar la pared celular de la madera con anhídrido acético, se reemplazan los grupos hidroxilos de las macromoléculas celulosa y hemicelulosa y con ello se logra rellenar los espacios moleculares con grupos acetilo y así evitar que éstos reaccionen con las moléculas de agua.

A continuación se observan los resultados para el ensayo termogravimétrico



En primer lugar, la reducción en masa a temperaturas inferiores a 200°C se debe a las pérdidas de agua de la madera.

Conforme aumenta la temperatura, se registra la mayor pérdida de masa en ambos casos, en temperaturas cercanas a los 300°C. Este punto es atribuido principalmente a la descomposición de la hemicelulosa (entre los 220 y los 315 °C) mientras que la descomposición de la lignina se plantea que ocurre en un amplio rango de temperatura (200–600 °C).

En líneas generales podemos concluir que la madera impregnada presenta una menor pérdida de masa final con respecto al blanco debido a que los residuos carbonosos de la misma son más estables a altas temperaturas.

Finalmente se realizó el ensayo de Resistencia a la llama Intermitente de un mechero Bunsen (RIB) y se determinó que las probetas tratadas con anhídrido acético no presentan diferencias al avance de llama con respecto a los blancos, característica muy importante a la

hora de llevar a cabo la protección de maderas frente a la humedad, dado que no empeora su comportamiento frente al fuego, como es el caso con muchos compuestos químicos que aumentan significativamente la inflamabilidad de la misma.



## CONCLUSIÓN

Con el desarrollo de los trabajos antes planteados se pudo concluir que las maderas que son sometidas a impregnación con anhídrido acético presentaron una modificación en su estructura, lo que resultó en un aumento de la hidrofobicidad de las mismas.

Por otra parte, frente al avance de llama no se encontraron diferencias entre la madera tratada y sin tratar. De todas formas, si bien no se presentaron mejoras, se pudo comprobar que la acetilación no produce un efecto contraproducente.

Como conclusión final entonces, podemos afirmar que la acetilación permitirá un resultado beneficioso en el uso de maderas de pino, respecto a la utilización de la misma en estado natural.

## REFERENCIAS

[1] R. Garay, M. Henriquez (2012) “Tratamiento químico de acetilación en madera de pinus radiata”. Maderas, Ciencia y Tecnología, Scielo, 14 (1), 103-113.

[2] Héctor J. Contreras Q., Hugo A. Trujillo P., Gerardo Arias O., José L. Pérez C., Ezequiel Delgado F. (2010) “Espectroscopia ATR-FTIR de celulosa: aspecto instrumental y tratamiento matemático de espectros”. e-Gnosis [online], 8 (9), 1-13.

[3] Maria Gröndahl, Anita Teleman, Paul Gatenholm (2003) Effect of acetylation on the material properties of glucuronoxylan from aspen wood”. Carbohydrate Polymers, 52 (4), 359-366.

[4] Roger M. Rowell (2006) “Chemical modification of wood: A short review”. *Wood Material Science & Engineering*, 1 (1), 29-33

[5] Carlos A. Giudice, Guadalupe Canosa (2016) “Flame-retardant systems based on alkoxy silanes for wood protection”, en *Wood Engineering*, ISBN 978-953-51-5018-3; Ed. InTech, Rijeka, Croacia