



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil**

**Evaluación de la Durabilidad del Barniz de Poliestireno
Expandido Sometido a Envejecimiento Acelerado por Radiación UV
como Protector para Pino Radiata Frente al Ataque de Hongos de
Pudrición Café.**

Por

Catalina De Los Ángeles Zapata Cáceres

Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor

**Prof. Guía: Gianella Adofacci Cárdenas
Prof. Co-referente: Rodrigo Ortiz M.**

Mayo, 2015

Dedicatoria

*A mi familia por el apoyo entregado en estos años de estudio,
en especial a mis hermanas y mis padres Ana y Juan
por el gran esfuerzo realizado como familia para poder cumplir mis metas.*

Agradecimientos

A todas las personas, amigos, familia, personal de biblioteca de la facultad de arquitectura, profesores, que levantaron mi ánimo cuando más lo necesité.

A mi familia por confiar en mí, por quererme y demostrarme que son el pilar fundamental en mi vida.

A Pedro por mostrarme que siempre existe una salida en todas las dificultades que la vida presenta.

A la escuela de construcción civil por formarme como profesional, a mi profesora guía Gianella Adofacci por mostrar paciencia y dedicación, al profesor Rodrigo Ortiz por las gestiones realizadas para desarrollar mi tesis y al personal que integra la escuela de construcción civil.

Gracias a la vida y a mis padres por darme esta oportunidad que es uno de los pasos para realizarme como una persona íntegra y con valores.

Índice

Lista de Abreviaturas	6
Lista de Figuras.....	7
Listas de Tablas.....	8
Resumen.....	9
1. Antecedentes Generales.....	10
1.1. Introducción.....	10
1.2. Objetivos.....	12
1.2.1. General.....	12
1.2.2. Específicos.....	12
1.3. Hipótesis.....	12
1.4. Alcances.....	12
2. Marco Teórico.....	13
2.1. Madera.....	13
2.1.1 Estructura macroscópica de la madera.....	13
2.1.2. Composición química de la madera.....	14
2.1.3. Clasificación botánica de la madera.....	14
2.1.4. Degradadores de la madera.....	15
2.1.4.1. Hongos de pudrición.....	16
2.1.5. Factores que influyen en el desarrollo de los hongos de la madera.....	17
2.1.6. Protección de la madera frente a agentes bióticos.....	17
2.2. Barniz de poliestireno expandido.....	18
2.2.1. Poliestireno expandido (EPS).....	18
2.2.2. D-limoneno.....	18
2.2.3. Barnices de poliestireno expandido.....	19
2.3. Envejecimiento artificial.....	20
2.3.1. Radiación ultravioleta.....	20
2.3.1.1 Radiación UV como método de esterilización.....	21
2.3.2. Métodos de envejecimiento artificial.....	22
3. Metodología de la Investigación.....	24
3.1. Revisión bibliográfica.....	24
3.2. Planteamiento del problema.....	24
3.3. Metodología de la investigación.....	24
3.3.1. Factorial de ensayos.....	24
3.3.2 Determinación del tiempo de envejecimiento.....	25
3.3.3 Dosis del barniz de poliestireno expandido.....	26
3.3.4. Elaboración del barniz a base de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno.....	26
3.3.5. Instrumentos de laboratorio.....	27

3.3.6. Determinación del peso de las probetas.....	27
3.3.7 Envejecimiento artificial de las probetas.....	27
3.3.8. Preparación para el proceso de inoculación.....	28
3.3.8.1. Preparación de las muestras.....	28
3.3.8.2. Preparación de los frascos de cultivo.....	28
3.3.8.3. Hongos de pruebas.....	29
3.3.8.4. Inoculación de cápsulas Petri y frascos Erlenmeyer.....	29
3.3.8.5. Incubación.....	30
3.3.9. Determinación del peso final de las probetas.....	30
3.3.10. Pérdida de peso.....	31
3.3.11. Microscopia óptica.....	31
3.4. Diagrama de flujo de la investigación.....	32
4. Presentación y análisis de de resultados.....	33
4.1. Película de barniz tipo.....	33
4.1.1. Barniz de poliestireno expandido: 1 película.....	33
4.1.2. Barniz de poliestireno expandido: 2 películas.....	34
4.1.3. Barniz comercial: barniz marino.....	35
4.2. Análisis general del barniz.....	37
4.3. Pérdida de peso luego de la exposición fúngica.....	38
4.3.1. Probetas sin barniz.....	38
4.3.2. Probetas con barniz.....	40
4.4 Análisis estadístico.....	45
5. Microscopia Óptica.....	47
6. Conclusión y Recomendaciones.....	49
Anexos.....	51
Anexo 1.....	52
Anexo 2.....	54
Anexo 3.....	66
Anexo 4.....	105
Anexo 5.....	109
Bibliografía.....	115

Lista de abreviaturas

EPS:	Poliestireno expandido.
UV:	Ultravioleta
UV-A:	Ultravioleta A
UV-B:	Ultravioleta B
UV-C:	Ultravioleta C
AWPA:	American Wood Protection Association
CORMA:	Corporación chilena de la madera
AITIM:	Asociación de investigación técnica de las industrias de la madera

Lista de Figuras

Figura 2.1- Cuadro comparativo entre latifoliadas y coníferas.....	15
Figura 2.2- Imagen de pudrición café.....	16
Figura 2.3- Relación entre grado de penetración de los rayos UV-A y UV-B en la atmósfera...	21
Figura 3.1- Disolución del poliestireno expandido en d-limoneno.....	26
Figura 3.2- Determinación del peso de la madera con balanza analítica.....	27
Figura 3.3- Medición nº12, termómetro cámara de envejecimiento.....	27
Figura 3.4- Frascos de cultivo.....	28
Figura 3.5- Medios de cultivos.....	29
Figura 3.6- Cámara de flujo con elementos necesario para proceder a la incubación de las probetas.....	30
Figura 4.1- Identificación visual de grietas y burbujas.....	34
Figura 4.2- Identificación visual de grietas y burbujas.....	35
Figura 4.3- Identificación visual de grietas y burbujas.....	36
Figura 4.4- Peso del barniz.....	37
Figura 4.5- Disminución del peso de después de envejecer.....	37
Figura 4.6- Pérdida de peso de las probetas sin barniz.....	39
Figura 4.7- Probeta de madera sin barniz, antes y después de la degradación.....	39
Figura 4.8- Pérdida de peso de las probetas con barniz sin envejecer.....	40
Figura 4.9- Pérdida de peso de las probetas con barniz en 8 meses de envejecimiento.....	41
Figura 4.10- Pérdida de peso de las probetas con envejecimiento de 12 meses.....	42
Figura 4.11- Pérdida de peso de las probetas con barniz con envejecimiento de 18 meses...	43
Figura 4.12- Pérdida de peso de las probetas a los 3 meses de exposición fúngica.....	43
Figura 5.1- Microscopia de probeta control sin barniz, madera de pino radiata D. DON.....	47
Figura 5.2- Microscopia de madera barnizada con barniz marino, y barniz de poliestireno Expandido.....	48

Listas de tablas

Tabla 2.1- Cuadro comparativo.....	19
Tabla 2.2- Radiación Ultravioleta tipo A en la ciudad de Concón.....	23
Tabla 3.1- Factorial de ensayos.....	25
Tabla 3.2 -Tiempo de exposición artificial.....	26
Tabla 4.1- Tabla resumen del peso promedio del barniz de poliestireno expandido en el tiempo, aplicado en 1 película.....	33
Tabla 4.2- Tabla resumen del peso promedio del barniz de poliestireno expandido en el tiempo, aplicado en 2 películas.	34
Tabla 4.3- Tabla resumen del peso promedio del barniz de poliestireno expandido en el tiempo, aplicado en película comercial.	35
Tabla 4.4- Peso del barniz.....	37
Tabla 4.5- Disminución del peso de la probeta.....	37
Tabla 4.6- Resumen de los promedios de la pérdida de peso.....	45
Tabla 4.7- Resumen de la prueba T-student de valores pareados.....	45
Tabla 4.8- Resumen de la prueba T-student de valores independientes.....	46

Resumen

En la siguiente investigación se presenta el análisis hecho a la película de barniz de poliestireno expandido, que se obtuvo del reciclaje de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno.

El análisis es para determinar si sirve como barrera protectora frente a un ataque de hongos de pudrición café en madera de pino radiata D. Don. Se consideraron dos aplicaciones de barniz de poliestireno expandido, la aplicación en una película y en dos películas, también se ocupó un barniz marino para realizar una comparación entre ambos barnices.

Para saber cómo se comporta el barniz en el tiempo, luego de ser barnizadas las probetas se envejecieron artificialmente con radiación ultravioleta tipo A, en tiempos correspondientes a 8, 12 y 18 meses, también se consideran 3 tiempos de evaluación fúngica, 1, 2 y 3 meses. Para esto se analizó el peso, pues el hongo de pudrición café hace que la madera disminuya su peso y como consecuencia final se desintegre. Además se realizó una microscopía óptica para determinar si existía deformación en la pared celular de la madera.

Luego de terminar el periodo fúngico se determinó que las probetas que más peso pierden son las barnizadas con barniz marino, luego las de barniz de poliestireno expandido en una capa y por último la aplicación de dos capas de barniz poliestireno expandido. La microscopía óptica indica que la pared celular de la madera correspondiente a la de barniz marino es afectada por el hongo de pudrición café, no así la madera recubierta con barniz de poliestireno expandido. Llegando a la conclusión que el barniz de poliestireno expandido sirve como barrera protectora de hongos de pudrición café hasta los 18 meses envejecido el barniz.

Palabras-Claves: *barniz de poliestireno expandido, hongo de pudrición café, degradación de la madera, envejecimiento artificial.*

1. Antecedentes Generales

1.1. Introducción

La madera ha sido uno de los materiales más empleados en la construcción a lo largo de la historia, su disponibilidad, resistencia a todo tipo de esfuerzos y la facilidad de labra que permite, han contribuido a la popularidad de empleo (García, 2006)

Chile cuenta con un patrimonio aproximado de 2,2 millones de hectáreas de plantaciones forestales, principalmente Pino insigne (o radiata) (CORMA, 2010). Este es especial para fabricar elementos estructurales laminados encolados. Se usa en revestimientos tanto interiores como exteriores. En construcción de viviendas (cerchas, paneles, pisos, cielos, etc.), en postes para cerco y de transmisión. (CORMA, 2003). Los productos derivados de aserrío y cepillado pueden ser madera elaborada y re manufacturada, tales como molduras, puertas, marcos, muebles y sus piezas, Chile produce 7160,2 miles de m³ de madera aserrada (CORMA, 2013)

Este material posee variadas características, una de estas es la durabilidad natural, que es la resistencia que presenta la madera a ataque bióticos (Colin, 2012). Según Peraza (2001) la madera como material de origen orgánico es especialmente estable, no obstante por su propia naturaleza constituye la base de alimentación de organismos vivos del reino vegetal (hongos) y del reino animal (termitas). La composición química de cada tipo de madera y el contenido de determinadas sustancias tóxicas, determina la resistencia natural de una madera al ser atacada (Vázquez, 2011). En Chile la madera de pino radiata ha sido clasificada como no durable (Torres *et al*, 2011).

La pudrición de la madera es una de las mayores causas de deterioro microbiológico que ocasiona daños estructurales de manera rápida, sobre elementos de madera en servicio (González, 2012).

Una de las principales pudriciones es la pudrición café, la que se caracteriza porque los hongos concentran fundamentalmente su ataque sobre la celulosa, dejando un residuo formado por lignina más o menos alterada que puede disgregarse fácilmente frotándola con los dedos (Zanni, 2004).

Es importante prevenir este ataque pues, los hongos de pudrición café producen una disminución del volumen y la disgregación en trozos cúbicos, en consecuencia la destrucción total de la madera (Remacha, 1989). González, (2012) establece que al alterar los componentes celulares de la madera cambian las propiedades físicas y químicas de estas. Indica Saccarello (2010) que el ataque biológico se ha expresado como pérdida de peso de la sustancia leñosa, además agrega que una pérdida insignificante de peso puede provocar una pérdida considerable de resistencia.

Afirma Pereira (2008) que si se somete la madera de pino radiata a la degradación de hongos de pudrición café, disminuye su peso y si a la misma probeta de madera de pino radiata se le aplica una fuerza de compresión normal y paralela a la fibra de esta la resistencia mecánica disminuye. Específicamente si la madera producto de la pudrición parda pierde peso en alrededor de 6%, puede disminuir su módulo de elasticidad en un 45%, tensión de rotura en 34% y tensión límite elástico en un 29%.

Es por esta razón que la madera necesita ser protegida a través de algún tipo de tratamiento (Ibáñez *et al*, 2012) logrando el aumento de la durabilidad. Para aumentar su durabilidad se puede impregnar con sales hidrosolubles tipo CCA (cobre, cromo, arsénico) (Torres *et al*, 2011).

Sin embargo se ha tomado en cuenta los peligros por la composición de los químicos que se utilizan en la preservación, esto debido a que algunos de estos compuestos contienen Arsénico, pueden ser tóxicos para las personas y animales, lo que provoca una gran preocupación ya que las maderas se encuentran en contacto directo con las personas (ECOWOOD, 2011).

Es por todo lo anterior que surge la necesidad de probar la eficacia de otros productos como agentes protectores de la madera frente a invasores que perjudiquen sus propiedades estructurales.

La madera se puede proteger con sustancias llamadas acabados o barnices. Éstos, además de cumplir una función decorativa, dan cierto grado de protección contra algunos agentes de deterioro. (Tamarit-Urias *et al*, 2002).

Por otro lado el poliestireno expandido es uno de los materiales más utilizados en el envasado y embalaje de diversos productos, además de ser productos como cascos, tablas de surf, etc. (López, 2012). La industria tiene procedimientos de reciclados para reutilizar este deshecho en otros productos, un método de reciclaje diferente al industrial es disolver el poliestireno expandido con d-limoneno, producto disolvente biodegradable. Nuevas investigaciones muestran otro tipo de propiedades del barniz de poliestireno expandido como la de Cárcamo (2013) que comprobó que el poliestireno expandido disuelto en d-limoneno sirve como barniz impermeabilizante de la madera. Y Benítez, Vélez (2013) el recubrimiento anticorrosivo de metales obtenido a partir de poliestireno expandido y limoneno, es una alternativa para controlar la corrosión y conservar el medio ambiente.

Si se recicla poliestireno expandido, se disuelve con d-limoneno, un compuesto orgánico, se obtiene un barniz impermeabilizante que a la vez podría cumplir la función de barniz anti fúngico, es decir, que proteja la madera de organismo microbiológicos que dañan la madera en servicio de forma estructural.

Sin embargo los barnices son susceptibles al daño por la radiación UV. Garmendia (2003) señala que la radiación solar ultravioleta, es la principal causante de la degradación de las superficies de madera y de los recubrimientos. La luz ultravioleta transmitida inicia reacciones fotoquímicas en la superficie de la madera resultando un cambio de color y falla en la adhesión entre madera y recubrimiento.

Se quiere verificar si en el transcurso del tiempo, aplicado en el exterior, el barniz a base de poliestireno expandido reciclado disuelto en d-limoneno cumple la durabilidad de la efectividad del barniz como protector ante un ataque fúngico, de hongos de pudrición café, en madera de pino radiata D.DON.

De esta forma aportar con una información de uso completo para un nuevo material que se obtiene de productos reciclados que sirve para proteger estructuralmente la madera además de embellecer la superficie de esta.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Evaluar la durabilidad del barniz de poliestireno expandido expuesto al ataque de hongos de pudrición café en madera de pino radiata D. Don sometido a envejecimiento acelerado por radiación UV-A.

1.2.2. Específicos

Evaluar las variaciones de peso de las probetas de madera de pino radiata D. Don, protegidas con el barniz propuesto, en diferentes periodos de envejecimiento, inducido por radiación UV-A.

Determinar la degradación producida por el hongo de pudrición café en la pared celular de la madera de pino radiata D. Don, protegidas por el barniz propuesto, para el periodo más desfavorable de envejecimiento por radiación UV-A.

1.3. Hipótesis

El barniz de poliestireno expandido en una y dos capas expuesto a radiación UV-A acelerada es durable como barrera protectora frente al ataque de hongos de pudrición café en madera de pino radiata D. Don.

1.4. Alcances

El estudio solo será válido para madera de pino radiata, ya que esta presenta menor resistencia frente ataques bióticos.

Las mediciones serán realizadas en el laboratorio de biodeterioro y biodegradación de materiales de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso.

Se utilizará 1 tipo de hongo de pudrición café, *Gloeophyllum Trabeum*.

Solo se analizará como factor de intemperie la radiación ultra violeta UV-A.

2. Marco Teórico

2.1. Madera

Podemos definir la madera como el tejido principal del sostén y conducción de agua de los tallos y las raíces. Se caracteriza por la presencia de elementos traqueales, los que son prácticamente la parte sólida sin corteza, proveniente del tronco, rama o raíces de un árbol. (Nasi, 1998).

2.1.1 Estructura macroscópica de la madera

Según Vignote y Martínez (2006) Si se realiza un corte al fuste de un árbol se observan las siguientes partes:

Corteza: es la parte más externa, formada por materia muerta de aspecto resquebrajado, debido a que el árbol sigue creciendo en su espesor, mientras que a corteza no.

Liber o Floema: capa delgada de apariencia similar a la corteza, más blanda cuyas funciones en el árbol es la de conducción de la savia elaborada.

Cambium: es una capa prácticamente inapreciable a simple vista, formada por células con funciones reproductoras, formando xilema hacia dentro y floema hacia afuera.

Albura: capa o zona de color generalmente claro, situada entre el duramen y la corteza, contiene células vivas y materiales de reserva.

Duramen: parte central del tronco rodeada por una capa de albura, que en el árbol vivo ha dejado de contener células vivas y en el cual los materiales de reserva han sido eliminados y transformados.

2.1.2. Composición química de la madera

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, hemicelulosas y ligninas, que están presentes en todas las maderas. Estas sirven de nutrientes a diversos organismos destructores.

Celulosa: es un polímero natural. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua.

Hemicelulosa: es un polímero tridimensional polisacárido en donde la unidad es muy variable. El grado de polimerización es mucho más bajo que en la celulosa. Tiene como misión dar a las fibras unión, pero sin incidir ni en su dureza, ni en sus propiedades mecánicas.

Lignina: Polímero tridimensional amorfo compuesto por unidades de fenil-propano. No dispone de grupos polares, lo que da carácter hidrófobo a la madera, es la sustancia que da a la madera su dureza ya que actúa como cementante entre la células. Es la que da rigidez y resistencia a compresión en la pared celular.



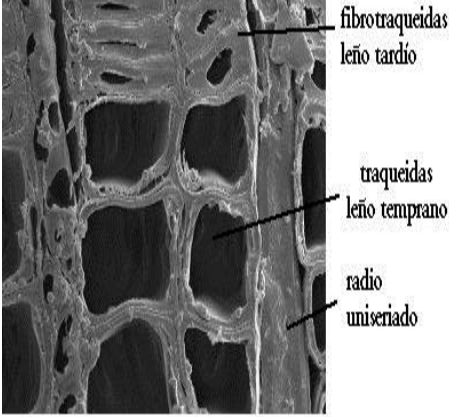
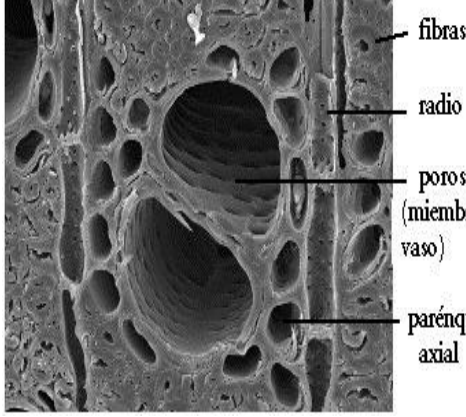
2.1.3. Clasificación botánica de la madera

De acuerdo a su estructura celular las especies de árboles se dividen en dos grandes grupos: coníferas y latifoliadas. La mayor diferencia entre ambas clasificaciones es la forma en que se organizan las células, lo que le otorga las características anatómicas que le son propias a cada tipo de árbol.

La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia (NCh 173 Madera –Terminología General). Las especies pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice (extremo superior) y revestido de ramas. Estas especies son atacadas principalmente por los hongos de pudrición café. Entre estas especies se encuentran el alerce, abeto, pino radiata.

La madera de latifoliadas proviene del grupo de angiospermas, los que están constituidos esencialmente por vasos, los cuales realizan la función conductora de la savia y por fibras que son el sostén del árbol (NCh 173Madera – Terminología General). Las especies latifoliadas presentan en general, una copa bien ramificada y un tronco que varía en dimensiones y forma. . Estas especies son atacadas principalmente por los hongos de pudrición blanca y algunas de sus especies son: roble, haya, fresno. A continuación se muestra un cuadro comparativo entre ambas especies, tanto del árbol, como del nivel microscópico de la misma.

Figura 2.1.- Cuadro comparativo entre latifoliada y coníferas.

MADERA DE CONIFERA	MADERA DE LATIFOLIADA
 <p data-bbox="305 783 535 810">Especie: pino radiata.</p>	 <p data-bbox="919 783 1076 810">Especie: roble.</p>
 <p data-bbox="630 825 743 888">fibrotraqueidas leño tardío</p> <p data-bbox="630 982 743 1045">traqueidas leño temprano</p> <p data-bbox="630 1098 743 1161">radio uniseriado</p> <p data-bbox="305 1245 816 1297">Imagen microscópica de la madera de conífera, corte transversal.</p>	 <p data-bbox="1287 842 1344 869">fibras</p> <p data-bbox="1287 911 1344 938">radio</p> <p data-bbox="1287 980 1393 1085">poros (miembro de vaso)</p> <p data-bbox="1287 1127 1393 1190">parénquima axial</p> <p data-bbox="849 1245 1425 1297">Imagen microscópica de la madera de latifoliada, corte transversal.</p>

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por Peichoto. *et al*, 2010.

2.1.4. Degradadores de la madera

Los agentes degradadores son todos los que directa o indirectamente intervienen en el deterioro de la madera.

Estos agentes degradadores se dividen en dos grandes grupos, agentes bióticos y agentes abióticos. Se describen a continuación:

a) agentes abióticos: en este grupo encontramos la degradación por el ciclo hielo-deshielo, por la radiación ultra violeta y el fuego.

b) agentes bióticos

Xilófagos marinos: causan graves pérdidas en los astilleros, embarcaderos, muelles y otras estructuras fijas o flotantes, establecidas en el mar o en agua salubres, se clasifican en moluscos y crustáceos.

Insectos xilófagos: tiende a la destrucción de la estructura de la madera, mediante la perforación de galerías, tanto en árboles en pie como recién cortados, para satisfacer las necesidades alimenticias del ciclo biológico correspondiente. Pocas de las especies atacan las piezas de madera en servicio. En general, la aparición esporádica de insectos no causa problemas a la madera, pero si se tiene en cuenta su capacidad de reproducción y su reinfección, pueden tornarse peligrosas. Los insectos se pueden clasificar, según su ciclo biológico en insectos de ciclo *larvario* y en insectos *sociales*.

Hongos xilófagos: son aquellos que fabrican enzimas capaces de degradar todos o algunos de los componentes de la madera. Se clasifican en mohos (degradan los elementos extraíbles), hongos cromógenos (capaces de modificar el aspecto y color de la madera) y los hongos de pudrición que se describe a continuación.

2.1.4.1. Hongos de pudrición

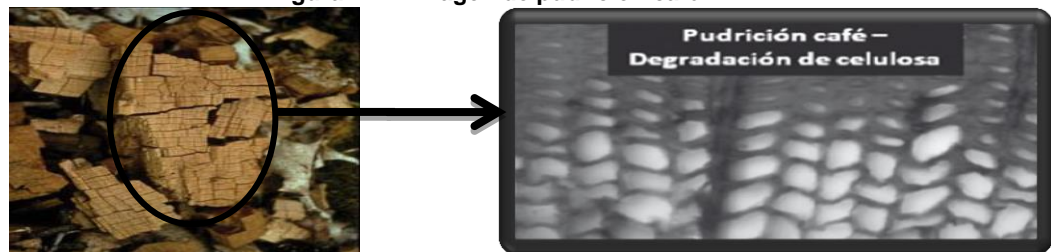
Estos hongos producen una degradación mayor, ya que alteran las paredes de la célula de la madera (pared celular). Las hifas emiten productos químicos (enzimas) que disuelven los nutrientes de la madera con los cuales se alimentan y se desarrollan. A continuación se describen los hongos de pudrición.

Pudrición blanda: Es originada por hongos inferiores del orden de ascomicetos, aparecen con frecuencia en maderas que se encuentran en contacto con el suelo. Obedece a la degradación de la celulosa de la pared secundaria de la célula, dando a la madera (cuando el grado de humedad es elevado) una consistencia blanda.

Pudrición blanca: tiene lugar cuando los hongos destruyen lignina, quedando como resultado un complejo celulósico blanquecino que no suele presentarse uniformemente.

Pudrición café: llamada también como pudrición parda, castaña o cubica. En ella los hongos concentran fundamentalmente su ataque sobre la celulosa, dejando un residuo formado por lignina más o menos alterada que puede disgregarse fácilmente frotándola con los dedos. El peso específico del leño disminuye hasta en un 25%, aumentando la retención del agua. En este tipo de pudrición la madera, al principio del ataque, conserva intacta su estructura celular exterior, pero si disminuye su contenido de humedad aparecen fendas de contracción en las direcciones radial, tangencial y transversal, que le confieren un aspecto característico que ha determinado que este tipo de daño sea conocido por pudrición cubica. (Zanni,2004).

Figura 2.2. - Imagen de pudrición café.



Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por Ortiz *et al* (2011).

2.1.5. Factores que influyen en el desarrollo de los hongos de la madera

Los factores que regulan el crecimiento o desarrollo de los hongos de pudrición son:

Humedad: el contenido de humedad en la madera, que favorece el deterioro causado por estos organismos está entre el 30% y el 50%.

Temperatura: la temperatura adecuada para el crecimiento de los hongos fluctúa entre los 20°C y 30° C. La actividad es prácticamente nula por debajo de los 4° y superior a los 40°.

Oxígeno: fundamental en el crecimiento de los hongos, el porcentaje debe ser superior al 20% de volumen de oxígeno por volumen de madera.

2.1.6. Protección de la madera frente a agentes bióticos

Los productos protectores son compuestos químicos que proporcionan a las piezas de madera una mayor durabilidad frente a distintos agentes degradadores.

Una de las clasificaciones que se les da a los productos protectores es según la acción que realizan, ejemplo: insecticida, fungicida, ignífugo y protector contra la luz.

Otra clasificación es según el tipo de preservante, entre estos tenemos solventes orgánicos, hidrosolubles, creosotados.

Por el tipo de protección que se desea lograr. Según Urbán (2012) la protección de la madera puede ser superficial, media o profunda, se describen a continuación:

Protección superficial: es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es de 3mm, siendo como mínimo 1mm en cualquier parte de la pieza tratada.

Los productos protectores utilizados son algunos hidrosolubles, los hidrodispersables y los que llevan disolventes orgánicos.

Protección media: es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es superior a 3 mm en cualquier zona tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable. Los productos protectores utilizados en estos sistemas de impregnación son las sales hidrosolubles, los protectores en disolventes orgánicos y los orgánicos naturales.

Protección profunda: es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75% del volumen impregnable. Los productos protectores utilizados son las sales hidrosolubles, los productos protectores en disolventes orgánicos y los orgánicos naturales.

Los barnices están compuestos por resinas, pigmentos, solventes. Las resinas se encargan de proteger la madera frente la acción del agua y comunicar flexibilidad al producto, hay una gran variedad, dentro de las más comunes se encuentran las alquídicas, vinílicas, poliuretanos y acrílicas. Los pigmentos sirven para disminuir la acción ultra violeta. El transporte y disolución de la resina y pigmentos está dada por los solventes. Existen otros productos que mejoran el comportamiento según el fin del barniz, por ejemplo las ceras naturales y modificadas, sintéticas y otros productos hidrófobos, minoran la acción del agua y la humedad, los diluyentes reducen la viscosidad, filtros solares, que evitan el efecto UV. Antioxidantes inhibidores fenólicos evitan el amarillamiento del producto y los insecticidas y fungicidas para la protección de agentes xilófagos. AITIM (2011)

2.2. Barniz de poliestireno expandido

2.2.1. Poliestireno expandido (EPS)

Al ser expuestos a temperaturas superiores a 100 °C, los productos de EPS empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, si aumenta la temperatura se funden. Si continua expuesto al calor durante un cierto tiempo el material fundido emite productos de descomposición gaseosos inflamables.

Según la empresa POLIDESA, el punto de inflamación de EPS es 345°C, Punto de reblandecimiento es 70-75 °C. Por esta razón se se puede someter a la esterilización por autoclavado que llega a los 120°C.

2.2.2. D-limoneno

Los monoterpenos son compuestos que se encuentran en la piel de los frutos cítricos, y algo menos de su pulpa. De todos estos el más importante es el D-limoneno propio de naranjas, mandarinas, limones y limas, donde está contenida en cantidades significativas, representando un 95% de los componentes volátiles. (Bello, 2005)

Industrialmente se utiliza para producir para-cimero por deshidrogenación catalítica. En los últimos años su demanda ha experimentado un gran crecimiento por su uso como disolvente biodegradable.

Puede ser usado como limpiador o removedor de grasas pesadas y manchas difíciles, hasta como removedor de suelos impregnados con hidrocarburos.

Punto de inflamabilidad de una sustancia generalmente de un combustible es la temperatura más baja en la que puede formarse una mezcla inflamable en contacto con el aire. Del D-limoneno: 50 °C según la empresa Cosmos, y 45-49°C según la empresa comercial Grabolal, lo que lo vuelve altamente peligroso al ser expuesto a altas temperaturas.

2.2.3. Barnices de poliestireno expandido

Carillo *et al* (2013) en su investigación discute la aplicación de una resina (o barniz) en base a EPS y un disolvente orgánico natural, al igual que sus propiedades mecánicas a tensión, para la disolución del EPS con un disolvente natural “limoneno”, utilizo dos tipos: limoneno de naranja y de limón. El primero conocido por ser menos ácido y de menor capacidad de ataque al EPS que el segundo. Para la identificación de la viscosidad de la resina que permita una adecuada aplicación, se utilizó una relación de 7.3 g de EPS por cada 100 g de limoneno, obteniendo una viscosidad similar a la de los barnices comerciales.

El papel kraft tiene una resistencia de 22,61(MPa), un módulo de Young de 25,51(MPa) y una deformación de 1,407 %, Los resultados que obtuvo aumentando la cantidad de EPS se ven reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 2.1- Cuadro comparativo.

MATERIAL	RESISTENCIA MPa	MÓDULO DE YOUNG MPa	DEFORMACION %
PAPEL	22,61	25,51	1,407
12% EPS	32,86	30,98	2,176
16%EPS	32,12	32,02	2,252
20%EPS	28,96	30,27	3,376

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por Carillo *et al* (2013)

La adición de mayor porcentaje de matriz, no contribuye en la mejora de rigidez que se le imprime al material celulósico cuando contiene una matriz de poliestireno expandido.

El barniz de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno fue probado por Cárcamo (2013). Para esta investigación comparó dos dosis de barniz, una dosis mínima de 250 gr/lt y una dosis máxima de 500 gr/lt.

Este concluye que el impermeabilizante de poliestireno expandido es aplicable a tableros de madera, además dice que tendría que pasar más de un año para que la película de recubrimiento se desgaste hasta romperse antes de que comience a desprenderse rápidamente por mala adherencia, siempre y cuando se halla barnizado la plancha completa o por lo menos hasta los cantos de manera de facilitar el agarre del recubrimiento a la plancha, evitando que se desprenda como si estuviera barnizada una cara solamente. Esto no significa que no pueden realizarse reparaciones parciales en una cara de la plancha, ya que hay buena adherencia de la disolución sobre el recubrimiento seco de la misma.

A mayor cantidad de poliestireno expandido por volumen de solvente, se obtiene mayor densidad, mayor viscosidad, menor variabilidad del espesor de la película seca, mayor resistencia a la abrasión, menor porcentaje de absorción y menor porcentaje de hinchamiento. En cambio a menor cantidad de poliestireno expandido por volumen de solvente, se obtiene menor densidad, menor

viscosidad, mayor variabilidad del espesor de la película seca, menor resistencia a la abrasión, mayor porcentaje de absorción y mayor porcentaje de hinchamiento. Por lo que se elige la dosis máxima para hacer la investigación.

Propiedades del barniz de poliestireno expandido de la dosis de 500gr/lt.

- Densidad: 0,930 gr/ml.
- Viscosidad: 26800 cps.
- Tiempo de secado: 5 horas en madera, el repintado de la segunda mano es a las 14,8 horas, que corresponde la secado total.
- Rendimiento: 30,7 m²/gal.
- Estabilidad: disolución estable.

Las siguientes propiedades son con la película de barniz envejecida y se registran los promedios de envejecimiento de 0 meses, 4 meses, 8 meses, 12 meses:

- Espesor de la película seca: 81 ± 14 (μm) con una variación después del envejecimiento de 1,8 %
- Resistencia a la abrasión seca: 0,76 (lt/ μm)
- Adherencia: clasificación 5.
- Retardo al fuego: índice de carbonización 24585,9mm³. El índice de carbonización aumenta a con el transcurso del tiempo de envejecimiento.
- Absorción del agua : 16%
- Hinchamiento: 1,9%

La NCh 2220 of.92 Pinturas y Barnices-Adherencia-Ensayo de corte transversal, describe que la clasificación 4 de adherencia “el revestimiento se ha desprendido a lo largo del borde de las incisiones como largas cintas y/o se han desprendido algunos cuadrados parcial o totalmente, y afecta claramente más de 35% hasta aproximadamente el 65% de la parte cuadrículada”, mientras que la clasificación 5 la define como “cualquier grado de de descascarillamiento que no pueda ser clasificado según la clasificación 4”.

2.3. Envejecimiento artificial

2.3.1. Radiación ultravioleta

Existen 3 tipos de rayos UV según la longitud de onda en la que son enviados a la tierra por el Sol: Rayos UV-A, UV-B y UV-C.

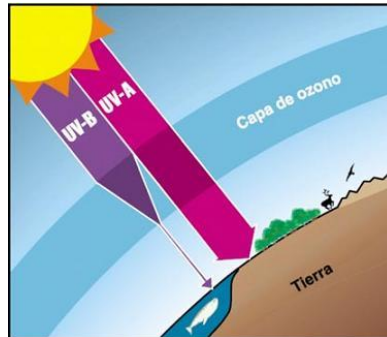
Los Rayos **UV-A**, estos rayos son capaces de penetrar en sustratos como la madera y las resinas de la pintura, generando gran daño al romper los enlaces celulares de los elementos. Estos rayos pueden penetrar la capa de ozono de forma directa y son responsables del daño que sufren los pigmentos de los revestimientos y pinturas.

Los Rayos **UV-B**, en cambio, atraviesan la capa de ozono de forma precaria, aunque su efecto puede llegar a ser mucho más visible que el de los rayos UV-A, pero no tan permanentes.

Por último, Los Rayos **UV-C**, no alcanzan a atravesar la atmósfera ya que son repelidos por la capa de ozono.

Una de las principales funciones de la pintura y barnices, es proteger a los sustratos del envejecimiento que produce la radiación UV que, a diferencia de la lluvia, la humedad y la suciedad, ataca las superficies de forma constante e imperceptible, por lo que la protección debe ser permanente y esporádica.

Figura 2.3.- Relación entre grado de penetración de los rayos UV-A y UV-B en la atmósfera



Fuente: Página web empresa Sherwin Williams (2014)

La radiación UV tiene un ligero efecto en el poliestireno expandido. Los rayos UV causan superficial decoloración amarillenta, pero no afecta las propiedades físicas

La radiación ultravioleta es la parte de la radiación solar principal responsable de la iniciación de procesos degradativos de polímeros. La capacidad de absorción del material es determinante, pues solo será dañado por las radiaciones que absorbe, y si la energía de estas radiaciones es suficiente para romper enlaces se producirán los efectos degradativos. (González, 1996).

2.3.1.1 Radiación UV como método de esterilización

La esterilización por rayos ultra violera (UV) desinfecta alterando el componente ADN de los microorganismos e impidiendo su reproducción, por tanto es un medio no químico que inactiva bacterias, esporas, protozoos, levaduras y virus.

Estas radiaciones pueden producirse artificialmente con lámparas de vapor de mercurio. Son igualmente efectivas para grampositivos y gramnegativos. Su principal uso es para esterilizar el aire y superficies, ya que no penetran en sólidos y lo hacen pobremente en líquidos. (VIGNOLI).

Los rayos UV-C tienen una longitud de onda más corta y un nivel de energía más alto que los rayos UV-A y UV-B. Ellos comprenden la mayor parte de todo el rango UV y muestran un fuerte efecto microbicida (bactericida). Al igual que las longitudes de onda visibles de la luz, los rayos UV-C viajan sólo en línea recta, y su intensidad disminuye al aumentar la distancia desde la fuente. En principio, los rayos UV-C no penetran ningún material, incluyendo cristal de la ventana.

2.3.2. Métodos de envejecimiento artificial

Podgorski *et al.* (1996) indican que una hora de exposición bajo condiciones de intemperismo artificial en la rueda francesa equivale a diez horas de exposición bajo condiciones de intemperismo natural.

Este método fue utilizado por Tamarit-Urias *et al* (2002) para determinar la vida útil del acabado de dos barnices poliuretanos para exteriores en la madera de Aile, Pino y Encino bajo condiciones de intemperismo acelerado, mediante los parámetros de falla por apariencia y falla por adhesión, así como analizar la influencia de la densidad básica y la textura de la madera en la degradación del acabado. Para lograr el objetivo sometieron las probetas a un proceso cíclico de intemperismo acelerado el que consistió en 12 minutos de inmersión en agua destilada a una temperatura de 16°C, 27 minutos al aire libre a una temperatura de promedio de 20°C y a una humedad relativa promedio de 35%, 24 minutos de exposición a luz ultra violeta emitida por seis lámparas a una temperatura promedio de 48°C y, 27 minutos al aire libre a una temperatura promedio de 25°C y una humedad relativa promedio de 35%. Los autores realizaron pruebas cuantitativas cada 100 horas hasta las 4300 horas de exposición.

El método de Caroca (2002) consiste en que envejecieron artificialmente las muestras de barnices según un procedimiento dado para determinar la resistencia de los barnices a la luz artificial de lámparas ultravioleta. Después de esta prueba se hicieron medidas de brillo, transparencia, color y solubilidad.

Las muestras fueron expuestas a un ciclo de 300 horas bajo una irradiación ultravioleta continua. Se simulan los efectos del sol por medio de ocho lámparas fluorescentes U.V. (ultravioleta) a luz difusa, ordenadas por corridas de cuatro en cada cara del aparato. Este orden permite una irradiación uniforme de las pruebas, la temperatura de exposición fue de 70°C. Se emplearon lámparas U.V.-B-313 especialmente utilizadas para degradar polímeros. Se ponen las muestras por pares tapando la mitad de la muestra para obtener una parte no envejecida y otra envejecida.

El envejecimiento artificial utilizado por Altamirano(2009), Alfaro (2009) y Beltrán (2009) fue mediante el uso tubos de rayos UV-A de la facultad de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso, los cuales emiten 3 mW/cm² en un segundo estando las muestras a 7 cm de los tubos, por lo que pudieron calcular los tiempos necesarios de exposición, considerando los datos determinados por el laboratorio de Evaluación Solar de la Universidad Técnica Federico Santa María sobre la radiación ultravioleta tipo A mensual captadas en la ciudad de Concón.

Tabla 2.2. –Radiación Ultravioleta tipo A en la ciudad de Concón.

RADIACION ULTRAVIOLETA EN LA CIUDAD DE CONCÓN mW/cm2					
MES/AÑO	2003	2004	2005	2006	2007
ENERO	7043	6711	6659	6665	6699
FEBRERO	5268	4977	4282	4234	4627
MARZO	3782	1090	4463	5150	3877
ABRIL	2582	3199	3033	2704	2988
MAYO	1851	1842	1881	1395	2001
JUNIO	1308	1634	1312	1451	1445
JULIO	1993	1856	1672	1625	1855
AGOSTO	2520	2630	2243	2192	2851
SEPTIEMBRE	3504	3771	3915	3743	3543
OCTUBRE	5226	5388	5104	5269	5436
NOVIEMBRE	5986	5466	6085	5987	6240
DICIEMBRE	3264	7098	6205	7355	6412

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada en Altamirano, (2009).

Llegando a las siguientes relaciones aproximadas, según la radiación máxima acumulada en distintos meses móviles:

- 3,5 horas equivale a la radiación de seis meses
- 4,5 horas equivale a la radiación de doce meses
- 7,5 horas equivale a la radiación de dieciocho meses
- 9,0 horas equivale a la radiación de veinticuatro meses

Cárcamo (2013) consideró los mismos patrones utilizados en Altamirano (2009), utilizando lámparas de UV-A que emiten 4,3 mW/cm² en un segundo a 7 cm de las muestras logró determinar los siguientes tiempos:

- 1,6 horas equivale a la radiación de cuatro meses
- 2,6 horas equivale a la radiación de ocho meses
- 3,1 horas equivale a la radiación de doce meses

3. Metodología de la Investigación

3.1. Revisión bibliográfica

Se revisaron las bases de datos del sistema integrado de bibliotecas de la Universidad de Valparaíso, suscripción de revistas de la biblioteca de la Universidad de Valparaíso, revistas electrónicas con información de madera, protectores superficiales, hongos de pudrición, envejecimiento acelerado, tesis de la Universidad de Valparaíso vinculadas a la madera, pudrición de madera y envejecimiento acelerado; libros, boletines técnicos electrónicos y artículos de asociaciones técnicas de investigación de la madera norteamericanas, sudamericanas y de la unión europea, como AWPA, CORMA, AITIM.

3.2. Planteamiento del problema

A partir de la información entregada por la revisión bibliográfica se encuentra una carencia de soluciones amigables con el medio ambiente, orientadas a la protección de la madera, además de la incógnita frente a qué tipo de protección microbiológica podría entregar el barniz impermeabilizante de poliestireno expandido probado en 2013 por Cárcamo. Es en este contexto que planteo la siguiente pregunta de investigación ¿el barniz a base de poliestireno expandido reciclado disuelto en d-limoneno cumple la durabilidad de la efectividad del barniz como protector ante un ataque fúngico, de hongos de pudrición café, en madera de pino radiata D.DON?

3.3. Metodología de la investigación

3.3.1. Factorial de ensayos

En esta investigación se consideran dos tipos de variables independientes, las cuales son: tipo de la película de barniz, y tiempo de envejecimiento. Variable dependiente: pérdida de peso luego del tiempo de exposición fúngica.

En el tipo de la película de barniz se registran, primero, el barniz a base de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno en dosis de 500 gr/lt en un espesor de 81 micras, considerándolo como la aplicación de una mano del barniz, segundo, el barniz a base de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno en dosis de 500 gr/lt en un espesor de 162 micras, considerándolo como la aplicación de dos manos de barniz, tercero, un barniz comercial, que sea aplicable en madera y al exterior, aplicado en dos capas, además que tenga carácter de anti fúngico y cuarto se considera la probeta sin barniz.

La variable de tiempo de envejecimiento corresponde al tiempo indicado por la equivalencia de envejecimiento natural y el envejecimiento acelerado, se considera tiempo de envejecimiento acelerado para 0 mes (barniz sin envejecer), 8 meses, 12 meses y 18 meses.

Considerando todas estas variables tendremos un total de 12 probetas de maderas a ensayar, además se consideran 3 periodos de evaluación fúngica, a las 4, 8, 12 semanas y se realizarán 10 repeticiones. Lo que se considera un total de 360 probetas de madera de pino radiata D. Don. para el análisis. Además se realiza el análisis para la probeta control, esta no tendrá barniz ni el factor envejecimiento. Se consideran 10 repeticiones y 3 periodos de evaluación fúngica. Llegando a un total de 390 probetas a evaluar.

La siguiente tabla representa la cantidad de probetas además de la codificación a usar en las muestras de madera de pino radiata.

Tabla 3.1.- Factorial de ensayos.

ENVEJ. (MESES)	TIPO DE PELÍCULA DE BARNIZ		
	1P	2P	C
0	0.1P	0.2P	0.C
8	8.1P	8.2P	8.C
12	12.1P	12.2P	12.C
18	18.1P	18.2P	18.C

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

En donde:

- 1P: espesor en una aplicación de barniz de EPS
- 2P: espesor en dos aplicaciones de barniz de EPS
- C: barniz comercial anti fúngico

3.3.2 Determinación del tiempo de envejecimiento

Para lograr la equivalencia del envejecimiento acelerado y el envejecimiento natural se utilizan los periodos de meses móviles de la radiación UV-A acumulada en la ciudad de Concón, determinados por el laboratorio de Evaluación Solar de la Universidad Técnico Federico Santa María, (anexo 1).

Se mide la irradiancia que generan los tubos UV-A, minuto a minuto durante 3 horas la irradiancia que se genera a 3 centímetros de los tubos, los valores muestran cuanto se demora en estabilizar la radiación, se descartan esos valores y se obtiene un promedio de todos los valores, llegando a la conclusión que 4 tubos de radiación UV-A a 3 centímetros de estos emiten 3,6 mW/cm² en un segundo. Obteniendo este dato se puede calcular el tiempo de envejecimiento artificial equivalente a 8, 12 y 18 meses.

Entonces si consideramos que las lámparas UV-A de la cámara de envejecimiento acelerado emiten 3,6 mW/cm² a una distancia de 3 cm de las muestras se puede determinar el envejecimiento acelerado para 8, 12 y 18 meses de envejecimiento natural, mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 3.2.- Tiempo de exposición artificial.

TIEMPO EXPOSICION NATURAL	MAXIMO ACUMULADO mW/cm2	TIEMPO EXPOSICION ARTIFICIAL		
		segundos	horas	hr:min:seg
8 MESES	40545	11263	3,128	3:07:43
12 MESES	48917	13588	3,774	3:46:28
18 MESES	80855	22460	6,239	6:14:20

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

3.3.3 Dosis del barniz de poliestireno expandido

Cárcamo (2013) investiga un barniz a base de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno, este hace la proposición de dos dosis, una dosis mínima y máxima, llegando a la conclusión que el barniz propuesto con dosis máxima de 500gr/lt es la dosis que presenta mejores condiciones para ser un barniz impermeabilizante de la madera.

Teniendo en cuenta esta información, la dosis que se ocupara en esta investigación será 500 gr/lt de poliestireno expandido por d-limoneno.

3.3.4. Elaboración del barniz a base de poliestireno expandido disuelto en d-limoneno.

Cárcamo comprobó que el rendimiento de la dosis máxima del barniz (500gr/lt) es de 30,7 (m²/gal), equivalente a 81100 (cm²/lt). Las probetas cubicas a utilizar tienen una dimensión por arista de 2,5 cm, y una superficie total de 37,5 (cm²), la equivalencia de probetas a barnizar es de 390. Se logra una superficie total de 14430 cm² a cubrir con barniz de poliestireno expandido, entonces para cubrir este total se necesitan 0,178litros. Se toma la decisión de fabricar 1/2 de litro para la solución, es decir, para esta fabricación se necesitan 250 gramos de poliestireno expandido para 0,5 litros de d-limoneno.

Figura 3.1. - Disolución del poliestireno expandido en d-limoneno.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación.

3.3.5. Instrumentos de laboratorio

Balanza analítica: La balanza utilizada en este estudio es digital y permite lograr una precisión de 0,1 gr, tiene por finalidad determinar la variación de peso de las probetas inoculadas.

3.3.6. Determinación del peso de las probetas

Las probetas son pesadas, se registra el peso antes de barnizarlas, luego de barnizarlas y una vez que el barniz sea envejecido artificialmente.

Figura 3.2- Determinación del peso de la madera con balanza analítica.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación.

3.3.7 Envejecimiento artificial de las probetas

Las probetas fueron ubicadas en la cámara de envejecimiento a 3 cm y 90° de la radiación incidente, todas las caras deben ser irradiadas.

La temperatura que genera la cámara de envejecimiento se midió con un termómetro con rango de medición de -50°C a 300°C. ANEXO 2.

Figura 3.3.- Medición nº12, termómetro cámara de envejecimiento.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación.

3.3.8. Preparación para el proceso de inoculación

3.3.8.1. Preparación de las muestras

Los bloques para los ensayos de pudrición se prepararon de acuerdo a lo señalado por la norma AWPA E 10-91. Toda la madera que se utilizó se encontraba libre de defectos como nudos, bolsas de resinas, manchas ni evidencia de ataque de microorganismos biológicos. Para la madera de pudrición se utilizó madera seca de albura de pino radiata.

Las probetas serán esterilizadas por medio de radiación UV-C.

Se realizan pruebas preliminares para determinar el tiempo de exposición con radiación UV-C que necesita cada probeta barnizada. Se inocula probetas barnizadas previamente expuestas a UV-C, durante 30 minutos, se introdujeron a los frascos de cultivos y luego de 2 semanas se revisaron, encontrándose micelios de hongos en la tierra pero no en las probetas, lo que indica que no hay contaminación y la esterilización sirve.

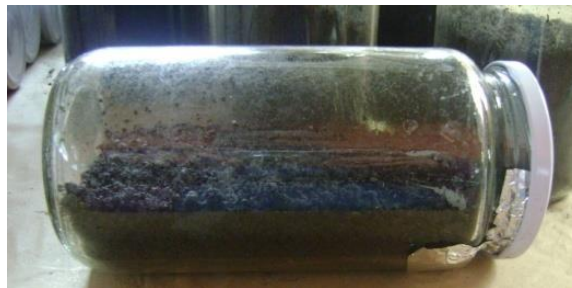
3.3.8.2. Preparación de los frascos de cultivo

Se utilizaron frascos de vidrio de 1000 cc. Dentro de los cuales se depositó el sustrato de tierra de bosque, considerando una relación suelo/aire de 70/30.

La tierra de bosque de cada frasco se humedeció según el factor de retención de agua (CRA).

Los frascos con sustrato de tierra de bosque fueron esterilizados por un periodo de 15 minutos a una temperatura de 121°C.

Figura 3.4.- Frascos de cultivo.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación

3.3.8.3. Hongos de pruebas

Para la investigación se utilizó el hongo de pudrición café, *Gloeophyllum trabeum*,

Medio de cultivo semi-sólido, se preparó con 15 gr de agar y 10gr de extracto de malta, por un litro de solución de agua destilada, todo fue esterilizado a 121°C por 15 minutos.

3.3.8.4. Inoculación de cápsulas Petri y frascos Erlenmeyer

Se transfirieron trozos de agar con micelio de hongos para inocular las cápsulas Petri. Las cápsulas inoculadas se dejaron a temperatura ambiente ($24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Cumplida una semana de crecimiento, 10 repique de hongos fueron colocados en 125 cc de medio de cultivo líquido en frascos Erlenmeyer de 500cc de capacidad. Los frascos se dejaron a temperatura ambiente, sin luz y a 125 rpm por 7 días en la mesa de vibrado.

Figura 3.5.- Medios de cultivos.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación.

3.3.8.5. Incubación

Las probetas de madera finalmente son inoculadas a través del medio líquido, el cual consiste en sumergirlas durante 5 segundos en el medio de cultivo líquido, enseguida se introduce la probeta en los frascos de cultivo. Todo este proceso se lleva a cabo en la cámara de flujo para evitar la contaminación, además todo se esteriliza con radiación UV-C.

Figura 3.6.- Cámara de flujo con elementos necesario para proceder a la incubación de las probetas.



Fuente: Archivos personales derivados del proceso de titulación.

Al término del periodo de incubación las probetas fueron extraídas de los frascos y limpiadas del micelio superficial si la situación lo ameritaba.

3.3.9. Determinación del peso final de las probetas

Las probetas fueron extraídas de los frascos y limpiadas del micelio, luego se pesaron en una balanza analítica de 0,1 decimales, considerando una adaptación de la norma AWPA E 10-91.

3.3.10. Pérdida de peso

La pérdida de peso (PP) se determinará según la expresión:

$$PP = \frac{(T1 - T2) \times 100}{T1} (\%)$$

PP: pérdida de peso.

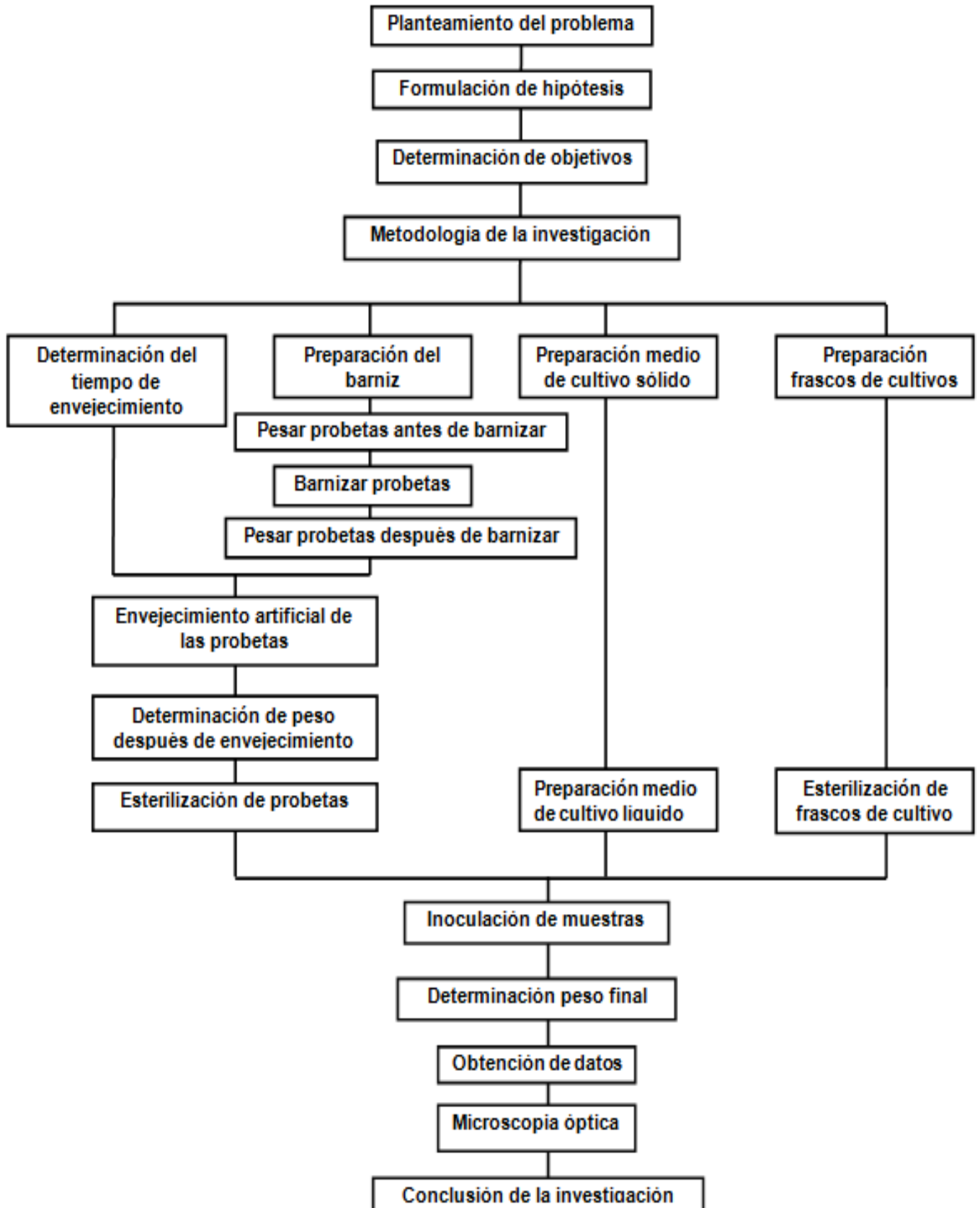
T1: Peso inicial de las muestras, corresponde al peso después de envejecer el barniz.

T2: Peso de las muestras después del procedimiento de inoculación.

3.3.11. Microscopia óptica

Con la ayuda de un microscopio óptico se analizaron las probetas del último periodo de envejecimiento, para determinar si existe degradación enzimática producto del hongo de pudrición café *Gloeophyllum trabeum*.

3.4. Diagrama de flujo de la investigación



4. Presentación y análisis de resultados.

Se realiza el análisis para la película tipo como para la madera, los datos se separan por tiempo de envejecimiento y por tipo de película

4.1. Película de barniz tipo.

Se realiza comparación por tipo de película de barniz de EPS aplicado en una capa, luego en dos capas y barniz marino que representa el barniz comercial. Considerando el peso del barniz la disminución del peso de la probeta producida después del envejecimiento además de la identificación visual de burbujas y fisuras.

4.1.1. Barniz de poliestireno expandido: 1 película.

En la tabla 4.1 se presenta el resumen de las características del barniz de poliestireno expandido aplicado en una capa, considerando el peso de la probeta en el tiempo.

Tabla 4.1.- Resumen del peso promedio del barniz de EPS en el tiempo, aplicado en 1 película.

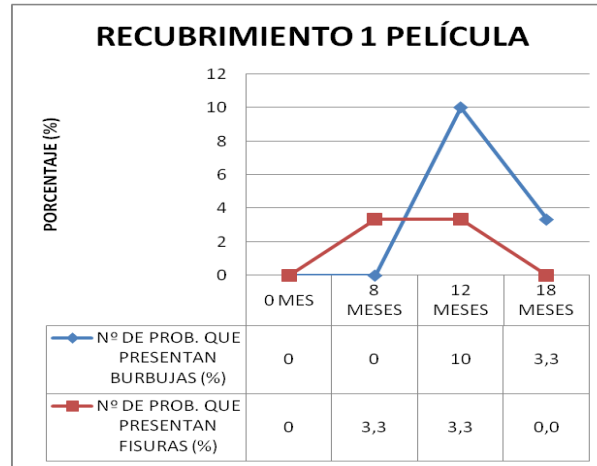
TABLA RESUMEN: 1 PELÍCULA DE BARNIZ DE EPS					
TIEMPO ENVEJ. (MESES)	ANTES DE BARNIZAR (GR)	DEPUÉS DE BARNIZAR (GR)	DESPUÉS DE ENVEJ. ARTIFICIAL (GR)	PESO DEL BARNIZ (GR)	DISMIN. DEL PESO DE LA PROBETA DESPUÉS DE ENVEJ. (%)
0	7,0	7,6	0,0	0,6	0,0
8	7,6	8,1	7,7	0,5	5,2
12	7,8	8,4	7,9	0,6	6,3
18	7,9	8,5	7,9	0,6	7,6
PROM.	7,6	8,2	7,8	0,6	6,4

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

Se consideran los promedios obtenidos por cada tiempo de envejecimiento y evaluación, generando con estos datos, un promedio en peso de 0,6 gr. Estos valores no dependen del tiempo de envejecimiento, pues se midieron antes de este proceso. El peso de las probetas disminuyo en un 7,6% como valor máximo a los 18 meses, después de someterse al envejecimiento artificial.

En la figura 4.1 se presenta el comportamiento de aumento y disminución de la cantidad de probetas con fisuras y burbujas, considerando las probetas barnizadas en una capa de barniz de poliestireno expandido.

Figura 4.1.-Identificación visual de grietas y burbujas.



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

La identificación visual se realiza en este caso para los 3 periodos de evaluación y los tiempos de envejecimiento de 8 meses, 12 meses y 18 meses, en donde la presencia de fisuras es inferior a la presencia de burbujas, y el envejecimiento no representa directamente la falla de fisuras y burbujas en el barniz aplicado en una película. Ocurre lo mismo que en la investigación de Cárcamo (2013), a medida que aumente el tiempo de envejecimiento disminuye la variabilidad del espesor de la película seca, es decir, a los 18 meses de envejecimiento la película del barniz adelgaza menos que a los 8 meses de envejecimiento, viéndose reflejado en la falla por fisuras y burbujas.

4.1.2. Barniz de poliestireno expandido: 2 películas.

Se presenta la tabla 4.2 que resume las características del barniz de poliestireno expandido aplicado en dos capas, considerando el peso de la probeta en el tiempo.

Tabla 4.2 Resumen del peso promedio del barniz de EPS en el tiempo, aplicado en 2 películas.

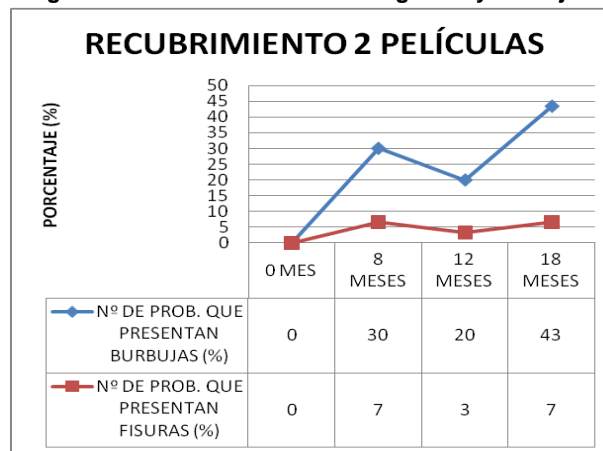
TABLA RESUMEN: 2 PELICULAS DE BARNIZ DE EPS					
TIEMPO ENVEJ. (MESES)	ANTES DE BARNIZAR (GR)	DEPUÉS DE BARNIZAR (GR)	DESPUÉS DE ENVEJ. ARTIFICIAL (GR)	PESO DEL BARNIZ (GR)	DISMIN. DEL PESO DE LA PROBETA DESPUÉS DE ENVEJ. (%)
0	6,9	7,6	0,0	0,7	0,0
8	7,6	8,3	8,0	0,7	4,2
12	7,6	8,3	7,9	0,7	4,3
18	7,6	8,5	7,8	0,9	8,1
PROM.	7,4	8,2	7,9	0,8	5,5

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

Se observa que el peso del barniz aumenta a mayor cantidad de capas. La presencia de burbujas es superior a la presencia de grietas, aumentando considerablemente a los 18 meses de envejecimiento acelerado, representando un 43% de las probetas observadas.

La figura 4.2 presenta el comportamiento de aumento y disminución de la cantidad de probetas con grietas y burbujas, considerando las probetas barnizadas en dos capas de barniz de poliestireno expandido.

Figura 4.2 Identificación visual de grietas y burbujas.



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

La identificación visual de burbujas y fisuras permite dar cuenta de que el barniz de EPS aplicado en una capa es menos susceptible a daño ultravioleta en comparación con el mismo barniz aplicado en dos capas.

4.1.3. Barniz comercial: barniz marino.

El resumen de los pesos de las probetas recubiertas con barniz marino se presenta en la tabla 4.3.

Tabla 4.3.-Tabla resumen del peso promedio del barniz de poliestireno expandido en el tiempo, aplicado en película comercial.

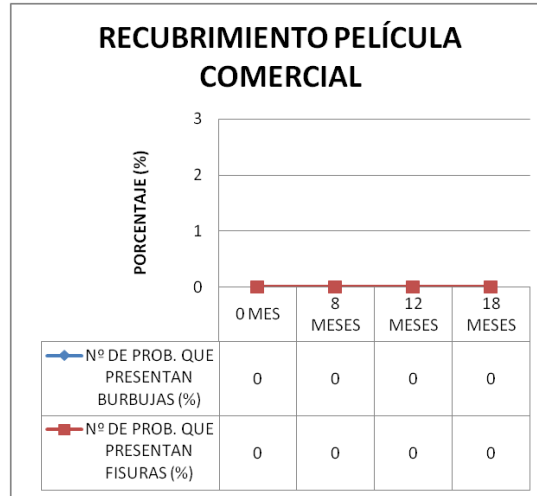
TABLA RESUMEN: BARNIZ COMERCIAL					
TIEMPO ENVEJ. (MESES)	ANTES DE BARNIZAR (GR)	DEPUÉS DE BARNIZAR (GR)	DESPUÉS DE ENVEJ. ARTIFICIAL (GR)	PESO DEL BARNIZ (GR)	DISMIN. DEL PESO DE LA PROBETA DESPUÉS DE ENVEJ. (%)
0	7,5	8,7	0,0	1,2	0,0
8	7,6	8,9	8,3	1,3	6,7
12	7,7	8,9	8,3	1,2	7,2
18	7,8	9,0	8,2	1,2	8,5
PROM.	7,7	8,9	8,2	1,2	7,4

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

La disminución del peso de la probeta luego de ser envejecida aumenta notablemente en comparación al barniz de poliestireno expandido, aplicado en 1 y 2 películas.

La cantidad de probetas de barniz marino con presencia de burbujas y fisuras se presenta en la figura 4.3.

Figura 4.3.-Identificación visual de grietas y burbujas.



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

La identificación visual de fisuras y burbujas indica que la película de barniz comercial, en este caso barniz marino aplicado en dos capas, no sufre daños con la radiación ultravioleta hasta un periodo de 18 meses, la presencia de burbujas y grietas es nula a simple vista.

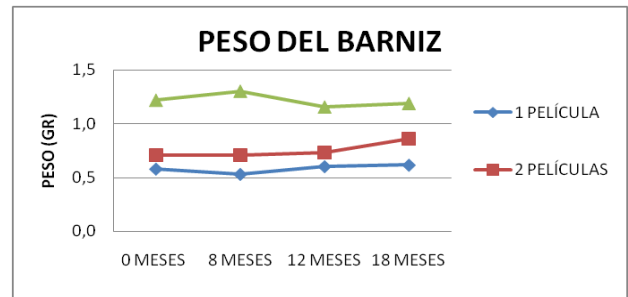
4.2. Análisis general del barniz

Se realizó un análisis general de las películas de barniz para lograr comparar su peso y disminución del mismo al momento de envejecer considerando a la radiación solar UV-A como una determinante para su degradación.

Tabla 4.4.- Peso del barniz

PESO DEL BARNIZ (GR)			
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	1 PELÍCULA	2 PELÍCULAS	BARNIZ COMERCIAL
0 MESES	0,6	0,7	1,2
8 MESES	0,5	0,7	1,3
12 MESES	0,6	0,7	1,2
18 MESES	0,6	0,9	1,2

Figura 4.4.- Peso del barniz



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

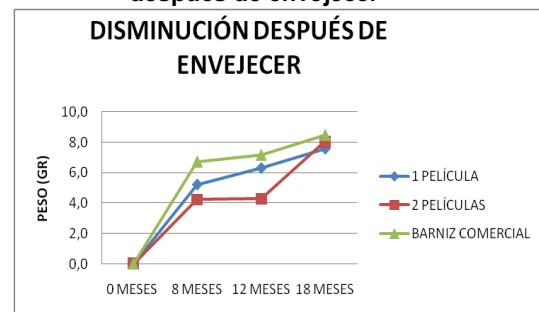
El barniz marino es superior en peso, a la aplicación de barniz de una y dos películas del barniz de poliestireno expandido. Si se realiza la comparación con el barniz de EPS en dos capas se puede decir que el barniz marino es superior en peso en un 41%.

La siguiente tabla y figura indican cual fue la disminución porcentual del peso de la probeta luego de ser envejecida.

Tabla 4.5.- Disminución del peso de la probeta después de envejecer

DISMIN. DEL PESO DE LA PROBETA DESPUÉS DE ENVEJ. (%)			
TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	1 PELÍCULA	2 PELÍCULAS	BARNIZ COMERCIAL
0 MESES	0,0	0,0	0,0
8 MESES	5,2	4,2	6,7
12 MESES	6,3	4,3	7,2
18 MESES	7,6	8,1	8,5

Figura 4.5.- Disminución del peso de la probeta después de envejecer



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

El peso de la probeta barnizada disminuye a medida que aumenta el tiempo de envejecimiento, siendo las probetas de barniz marino las que pierden mayor peso, con una pérdida promedio a los 18 meses de 8,5%. El barniz de poliestireno expandido aplicado en 1 película se ve más afectado en la disminución del peso de la probeta en comparación a la aplicación a 2 películas, sin embargo la pérdida de peso promedio a los 18 meses de envejecimiento es superior en las probetas barnizadas con barniz de poliestireno expandido aplicado en dos capas. La disminución del peso del barniz en una capa en el tiempo es constante no así la aplicación en dos capas ya que no pierde considerablemente peso en el tiempo por radiación UV-A hasta los 12 meses de exposición, pero luego de este tiempo podría haber una saturación de material logrando que la radiación UV-A, rompa los enlaces químicos de esta aplicación haciendo muy frágil a largo plazo.

4.3. Pérdida de peso luego de la exposición fúngica

Para realizar el análisis de resultados de la pérdida de peso de las probetas se realizó el test de comparación de medidas (t-student), mediante el cual se determinara si la pérdida de peso de las probetas es significativa.

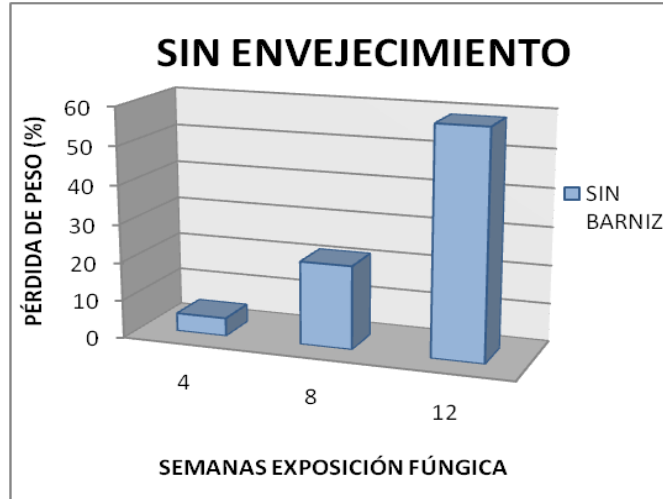
Los resultados se presentan para el tiempo de envejecimiento artificial con el tipo de película de barniz correspondiente.

4.3.1. Probetas sin barniz

Las probetas sin barniz que se inocularon con hongo, muestran una pérdida de peso promedio a las 4 semanas de 4,7 %. A las 8 semanas una pérdida de peso promedio de 21,7% y en el último periodo de 12 semanas estas probetas pierden un 58,8% de peso respecto al peso inicial, lo que indica que en la madera de pino radiata sin protección el hongo de pudrición café *Gloeophyllum trabeum*, causaría una pérdida de más de la mitad de su peso en 3 meses de exposición fúngica haciéndose visible la rápida capacidad destructora de este microorganismo pudridor. Estos valores son muy superiores en comparación a la investigación realizada por Pereira (2008), el que utilizó un hongo de pudrición café *Serpula lacrimas*, llegando a un valor máximo de pérdida de peso a las 12 semanas de exposición fúngica de 7,8% de pérdida respecto al peso inicial. Sin duda el hongo *Gloeophyllum trabeum* es mucho más agresivo que el hongo *Serpula lacrimas*, en cuanto a su rapidez de destrucción.

La figura 4.6 muestra la pérdida de peso de las probetas sin barniz en el periodo de 4, 8 y 12 semanas de exposición fúngica.

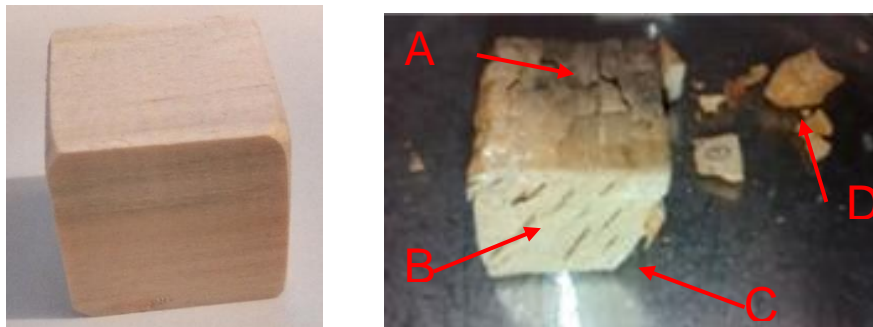
Figura 4.6.- Pérdida de peso de las probetas sin barniz.



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

La siguiente imagen muestra la diferencia de la madera antes y después de la degradación por pudrición. A la izquierda la madera sin ningún tipo de degradación y a la derecha la probeta número 10 de la investigación correspondiente a 3 meses de exposición fúngica, la cual advierte visualmente un gran grado de deterioro por pudrición, la probeta tiene formación en trozos cúbicos (A), rajaduras (B), deformación (C) y desintegración de la pieza (D). El anexo 5 muestra la degradación de todas las probetas de la investigación.

Figura 4.7.- Probeta de madera sin barniz, antes y después de la degradación.



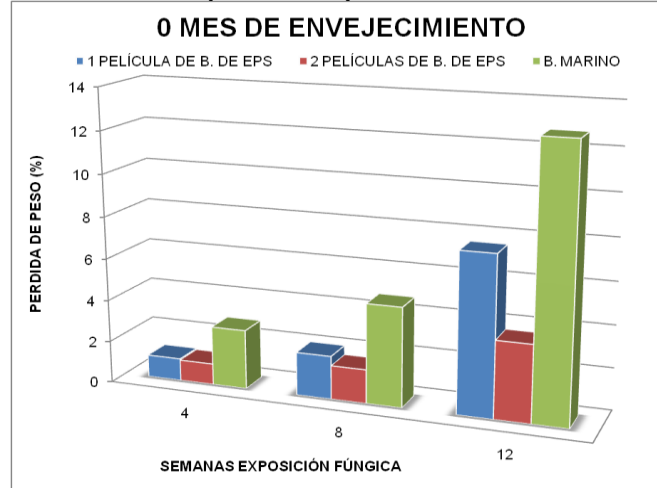
Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

4.3.2. Probetas con barniz

Se presenta a continuación los resultados de la pérdida de peso de las probetas barnizadas.

La figura 4.7 representa la pérdida de peso que se produjo en las probetas sin envejecer. Los valores se presentan por tipo de película.

Figura 4.8.- Pérdida de peso de las probetas con barniz sin envejecer.

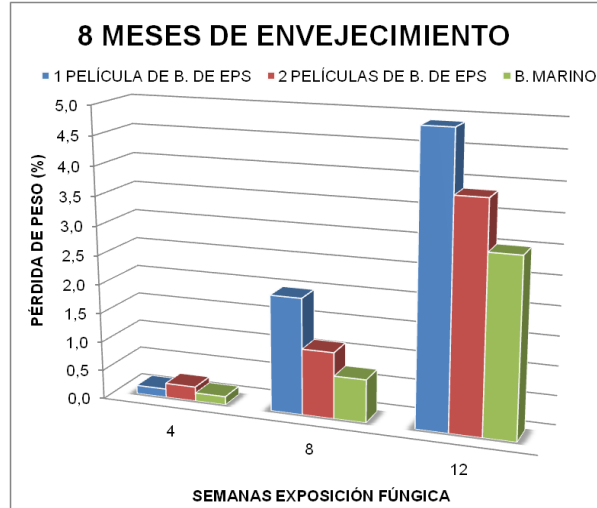


Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

En la etapa de envejecimiento 0 meses, a pesar de que el barniz no sufrió cambios por radiación UV-A se produjo una pérdida de peso. En el primer periodo de exposición fúngica correspondiente a 4 semanas las probetas barnizadas con una película de barniz de EPS perdió un 1,1% de peso, las probetas barnizadas con el mismo barniz en 2 capas perdió un 1,0% y barniz marino un 2,8%. Al mes de exposición fúngica el barniz marino sufrió más pérdida de peso que las probetas barnizadas con barniz de EPS, siendo las aplicaciones en una y dos capas similares en pérdida de peso. En 8 semanas de exposición fúngica la pérdida de peso para una película de barniz de EPS fue de 2,1%, dos películas de EPS 1,6% y barniz marino 4,7%. En este periodo de exposición fúngica las probetas recubiertas con barniz marino fueron las que perdieron más peso. Para el periodo de 12 semanas de exposición fúngica la pérdida de peso fue la siguiente 7,6; 3,7; 12,7 % para una película de EPS, dos películas de EPS y barniz marino respectivamente.

A continuación se presenta el gráfico que indica la pérdida de peso de las probetas con el respectivo barniz envejecido con radiación UV-A correspondiente a 8 meses.

Figura 4.9 Pérdida de peso de las probetas con barniz en 8 meses de envejecimiento

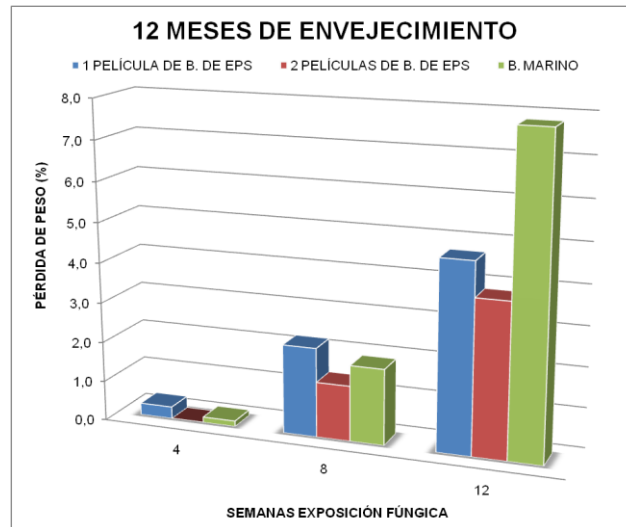


Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

La pérdida de peso para las 4 semanas de exposición fúngica en las probetas de una película es de 0,1%, para dos películas de 0,2% y barniz marino de 0,1 %. En el segundo mes de exposición fúngica (8 semanas de exposición fúngica) la pérdida de peso para el barniz de EPS en una capa es de 2,0% y en dos capas de 1,1%, la pérdida de peso de las probetas de barniz marino fue un 0,7%. La pérdida de peso registrada a las 12 semanas de exposición fúngica es la siguiente 4,9, 3,9 y 3,0% para 1 película de EPS, 2 películas de EPS y barniz marino respectivamente. La pérdida de peso aumenta a medida que aumenta el tiempo de exposición fúngica.

La figura 4.9 representa la pérdida de peso a los 12 meses de envejecimiento en el periodo de 4, 8 y 12 semanas de exposición fúngica.

Figura 4.10.- Pérdida de peso de las probetas con envejecimiento de 12 meses.

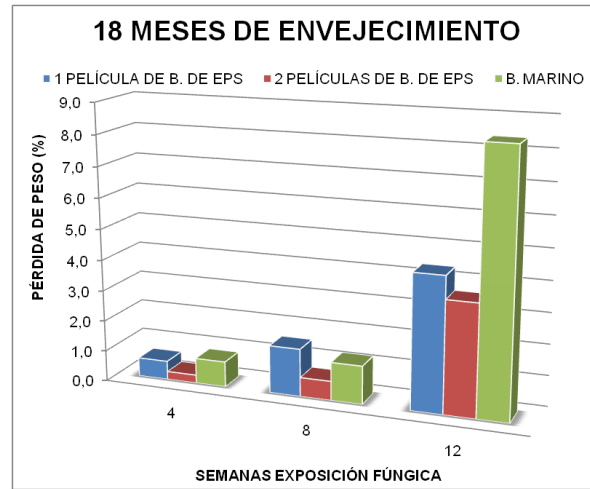


Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

Las probetas envejecidas 12 meses perdieron en el primer periodo de exposición fúngica 0,3%, 0,0% y 0,1% para una película de EPS, dos películas de EPS y barniz marino, respectivamente. En el segundo periodo de exposición fúngica la pérdida de peso fue de 2,2% para las probetas barnizadas en una capa de EPS, de 1,4% para dos capas de EPS Y 1,9% para barniz marino. En el tercer periodo de exposición fúngica la pérdida de peso para una película fue 4,7% barniz en dos capas 3,8% y barniz marino 7,8%.

Los resultados obtenidos de las probetas envejecidas 18 meses son, probetas con barniz de EPS en una y dos capas 0,6% y 0,3% respectivamente y 0,8% la pérdida de peso para las probetas barnizadas con barniz marino. En el segundo periodo de exposición fúngica la pérdida de peso fue 1,5% para el barniz en una capa de EPS, 0,6% para las probetas barnizadas en dos capas con EPS y 1,2% para las probetas barnizadas con barniz marino. En el tercer periodo de exposición fúngica la pérdida fue de 4,4, 3,6 y 8,4% para una película, dos películas y barniz marino respectivamente.

Figura 4.11.- Pérdida de peso de las probetas con barniz con envejecimiento de 18 meses

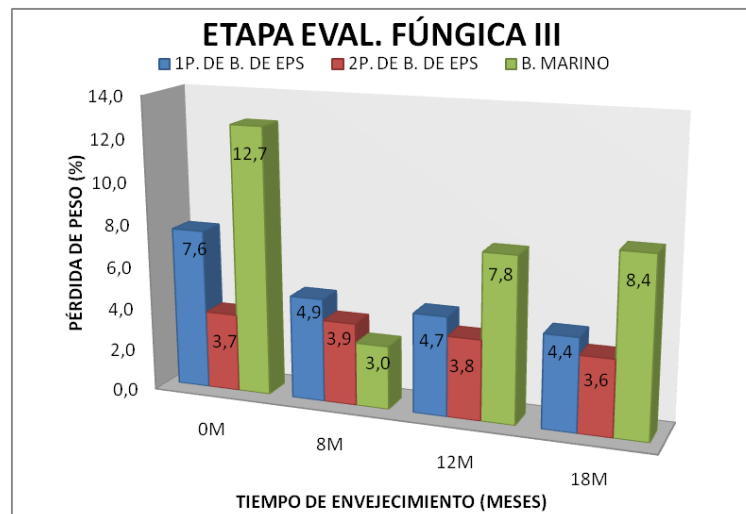


Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

En todos los casos, a medida que aumenta el tiempo de exposición fúngica, aumenta la pérdida de peso. Considerando la etapa de evaluación fúngica III (3 meses).

El siguiente gráfico muestra la pérdida de peso que se produjo en la etapa de evaluación fúngica III, considerando los 3 tipos de recubrimiento, barniz de poliestireno expandido en una película, dos películas y barniz marino.

.Figura 4.12.- Pérdida de peso de las probetas a los 3 meses de exposición fúngica.



Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

El grupo con mayor cantidad de probetas con fisuras y burbujas son las que pierden menos peso en el transcurso de la evaluación fúngica y envejecimiento artificial, es decir, las probetas de 1 película de barniz de EPS que pierden más peso, presentan menor cantidad de fisuras y burbujas. Se esperaba que a medida que las probetas tuvieran mayor falla física, sería más fácil el ingreso del hongo a la madera por estas aberturas, pero ocurrió lo contrario.

El grupo de probetas barnizadas con el barniz marino no presentan en ninguno de los casos, fisuras y burbujas, sin embargo son las probetas que mas pierden peso, siendo en el tercer periodo de exposición fúngica donde se registra mayor pérdida de peso.

Si las probetas con barniz de EPS son las que pierden menor peso, y tienen más fisuras y burbujas en comparación con el barniz marino podría decirse que el barniz de EPS, puede actuar como un repelente o fungicida que neutraliza, impide y/o retarda el ataque del hongo de pudrición café. Siendo la aplicación de dos capas la más potente, pues tiene mayor cantidad de este fungicida. Esto es probable porque el d-limoneno, disolvente natural que se utilizo con el poliestireno expandido, ya se utiliza en la industria como herbicida, insecticida, lo que muestra la posibilidad de ser un fungicida.

En el primer periodo de evaluación fúngica, se aprecia una buena condición en la madera y la película de barniz, para los tres tipos. Es decir, el barniz no sufre deterioro hasta por lo menos los 18 meses de envejecimiento.

En el segundo periodo de evaluación fúngica las probetas barnizadas con barniz de EPS con una capa, comienzan a presentar daño desde los cero meses de envejecimiento, se debe considerar que las probetas correspondientes a 0 meses de envejecimiento no tenían fisuras al momento del análisis de fisuras, estas se debe a que se aplico el método de esterilización con UV-C, debido a esto se logró en las aplicaciones de barniz EPS mayor falla de lo que debería ser en la realidad. El barniz de EPS aplicado en dos capas, comienza con daños a los 12 meses y las probetas con barniz marino no presentan daños en el barniz. La calidad de la madera no se ve afectada.

En el tercer periodo de evaluación fúngica, el barniz de EPS en una y dos capas presentan problemas en todos los tiempos de envejecimiento, pero no muestran indicios de que la madera este degradada. En cambio las probetas barnizadas con barniz marino, no tienen daño en la película a simple vista, sí en la madera, pues las probetas de 18 meses de envejecimiento muestran un notable ablandamiento en la madera lo que indica pudrición.

Si bien el barniz de poliestireno expandido actúa como fungida, existe un problema, la falla física que presenta por la radiación ultravioleta. El tercer periodo de evaluación fúngica da cuenta de este daño, indica Garay (2009) que los recubrimientos transparentes normalmente son sensible a la foto-oxidación por la luz ultravioleta. La película de barniz presenta problemas de adherencia, prevista por Cárcamo (2013). Además de la carencia de aditivos que tiene el barniz de poliestireno expandido para su adherencia, influye el tipo de madera, Tamarit-Urias *et al* (2002) indica en su investigación que unos de las características que impide la mejor retención del acabado en madera de *pinus patula* es debido a algunas características de la madera, canales resiníferos y bolsas de resina, también presentan bandas anchas en la madera temprana, ya que se degrada más rápidamente que la madera tardía, lo que conlleva a que en esta ultima la unión con el acabado sea más fuerte por estar menos intemperizada.

4.4 Análisis estadístico

Se presentan tablas resumen donde se aprecian los resultados estadísticos obtenidos de la investigación realizada. El anexo 3 y anexo 4 indican el análisis completo de las pruebas estadísticas.

Tabla 4.6.- resumen de los promedios de la pérdida de peso.

PERDIDA DE PESO (%)				
ETAPA EVAL. FUNGICA		I	II	III
ENVJ.	SIN BARNIZ	4,7	21,7	58,8
0M	1P	1,1	2,1	7,6
	2P	1,0	1,6	3,7
	BM	2,8	4,7	12,7
8M	1P	0,1	2,0	4,9
	2P	0,2	1,1	3,9
	BM	0,1	0,7	3,0
12M	1P	0,3	2,2	4,7
	2P	0,0	1,4	3,8
	BM	0,1	1,9	7,8
18M	1P	0,6	1,5	4,4
	2P	0,3	0,6	3,6
	BM	0,8	1,2	8,4

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

Cada valor de la tabla anterior representa un grupo de datos de un tamaño muestral de $n=10$, a cada grupo se le realizó la prueba de significancia T-student de comparación pareada para analizar la variable dependiente considerando el peso inicial y final de una misma muestra.

La tabla 4.7 indica si cada valor fue o no significativo estadísticamente en la investigación. Siendo (S) significativo y (N.S) no significativo.

Tabla 4.7.- resumen de la prueba T-student de valores pareados.

REGISTRO T-STUDENT MUESTRA DEPENDIENTE				
ETAPA EVAL. FUNGICA		I	II	III
ENVJ.	SIN BARNIZ	S	S	S
0M	1P	S	S	S
	2P	S	S	S
	BM	S	S	S
8M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	N.S	S
	BM	N.S	N.S	S
12M	1P	N.S	s	S
	2P	N.S	N.S	S
	BM	N.S	S	S
18M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	N.S	S
	BM	S	S	S

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación

Se muestra claramente que fue el tercer periodo de exposición fúngica donde todos los valores de diferencia de peso tienen significancia estadística.

También se realizó la prueba de significancia T-student para muestra independiente con varianza estadísticamente iguales. La que consigue demostrar que los valores obtenidos en la investigación tienen significancia respecto de la probeta control en el segundo y tercer periodo de evaluación fúngica.

Tabla 4.8.- resumen de la prueba T-student de valores independientes

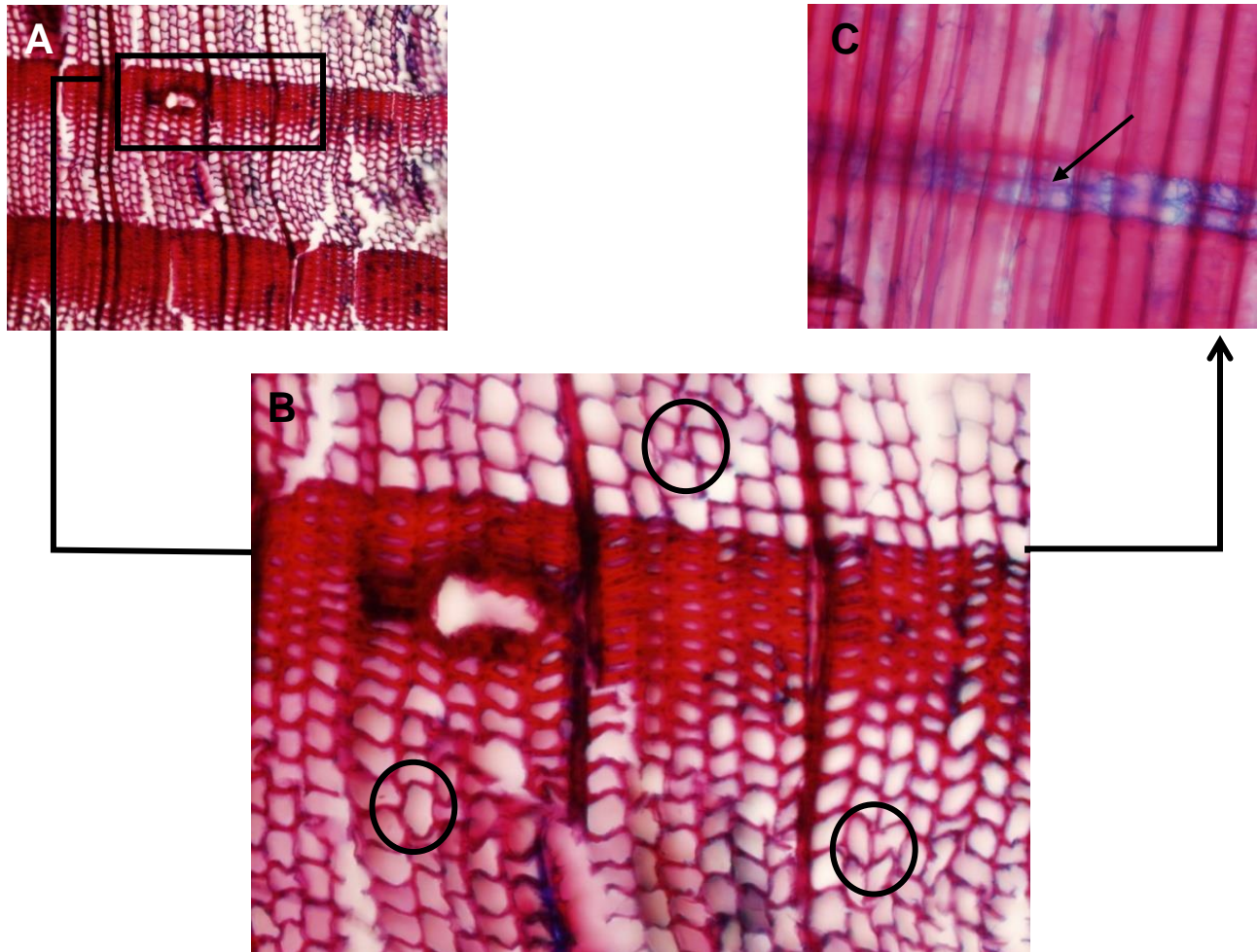
REGISTRO T-STUDENT MUESTRA INDEPENDIENTE				
ETAPA EVAL. FUNGICA		I	II	III
ENVJ.	SIN BARNIZ			
0M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	S	S
	BM	N.S	S	S
8M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	S	S
	BM	N.S	S	S
12M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	S	S
	BM	N.S	S	S
18M	1P	N.S	S	S
	2P	N.S	S	S
	BM	N.S	S	S

Fuente: Elaboración propia derivado del proceso de titulación.

5. Microscopia óptica

Se presenta a continuación la microscopia óptica realizada a las probetas con 18 meses de envejecimiento, que resulta ser lo más representativo, además se presenta la microscopia para la probeta control.

Figura 5.1 Microscopia de probeta control sin barniz, madera de pino radiata D. DON.

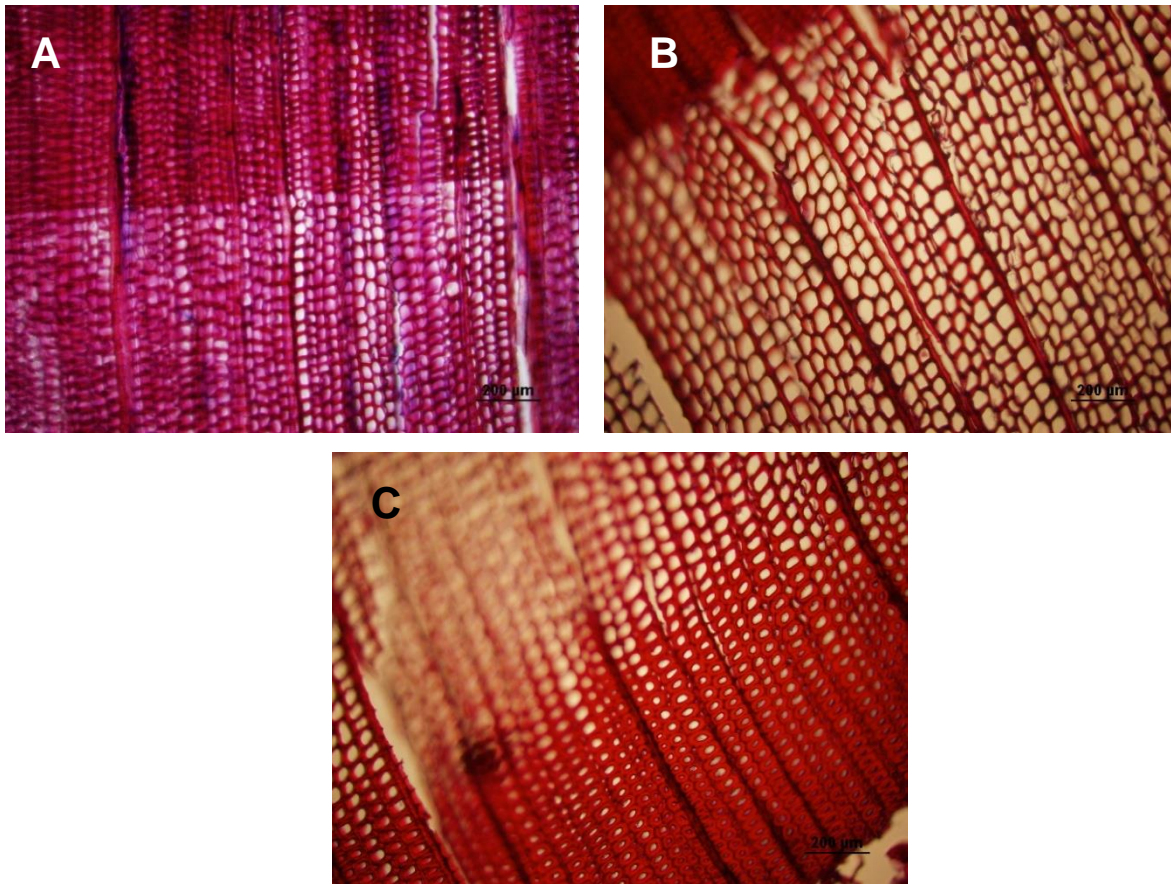


Fuente: Imagen capturada en laboratorio de Facultad de Medicina, U. de Valparaíso

Quando la madera no se protege y es germinada por esporas de hongos xilófagos (en este caso pudrición café), manteniendo condiciones para su crecimiento, se ve enfrentado a cambios a nivel químico y físico. La imagen muestra despolimerización de la celulosa. (A) corte transversal de madera de pino radiata que presenta deformación de la pared celular en toda su estructura, (B) deformación de la pared celular, se indican algunos de los sectores con deformación celular, (C) corte radial, se aprecia crecimiento de la hifa del hongo de pudrición café.

A continuación la microscopía realizada a las probetas de madera de pino radiata D. Don, en la etapa de exposición fúngica III, Barnizadas con barniz de poliestireno expandido en una capa, no presenta degradación por hongo de pudrición café (A). Probeta barnizada con barniz marino, inicio de degradación de celulosa (B). Probeta barnizada con barniz de poliestireno en dos capas, no presenta ningún tipo de degradación por pudrición café (C).

Figura 5.2 microscopía de madera barnizada con barniz marino, y barniz de poliestireno expandido.



Fuente: Imagen capturada en laboratorio de Facultad de Medicina, U. de Valparaíso

Existe una gran diferencia en la estructura de la madera de conífera luego de ser afectada por el hongo de pudrición café, *Gloeophyllum trabeum*, en la probeta control, madera sin protección. Se visualiza el desorden que ocasiona este agente de destrucción biótica. Al tratar la madera con un método preventivo, un acabado formador de película, barniz de poliestireno expandido, no se registra daño a nivel microscópico por lo que no se presenta alteración química de las paredes celulares de las fibras de la madera. Si se evidencia daño en la madera con el barniz marino.

6. Conclusión

Luego de la obtención de evidencia se puede concluir que el barniz a base de poliestireno expandido, disuelto en d-limoneno, sirve como una barrera protectora, un barniz anti fúngico, hasta los 18 meses de envejecimiento bajo condiciones de intemperismo como la radiación ultravioleta.

Luego de hacer las mediciones de masa de la madera, se comprobó que la pérdida de peso fue mayor en las probetas con barniz marino, manteniendo una diferencia de 4,8% con las probetas barnizadas con barniz de poliestireno expandido en dos capas, en el tercer periodo de evaluación fúngica con 18 meses de envejecimiento.

Del mismo modo la aplicación de barniz de poliestireno expandido aplicado en dos capas es más eficaz en 0,8% que la aplicación en una capa. Aunque existe una pérdida de peso en el segundo y tercer periodo de evaluación fúngica, en el transcurso del tiempo, el análisis visual representado por la microscopia indica que no existe daño en la pared celular de la madera en las probetas recubiertas con barniz de poliestireno expandido.

En cambio la madera protegida con barniz marino sí registra daño. Por lo que el barniz de poliestireno expandido es más eficiente que el barniz marino respecto a la capacidad fungicida que posee. No así en apariencia, debido al descascarillamiento del barniz de poliestireno expandido.

Considerando que el barniz a base de poliestireno expandido es fungicida, no existe la necesidad de agregar, principios activos como isothiazonas y derivados de enzimidazoles, fungicidas para acabados indicados por Garay (2009).

Es un problema la falla por apariencia que presenta la película de barniz de poliestireno expandido, en este caso, las fisuras y burbujas, que dan paso a la pérdida de la adherencia de la misma. Considerando que el barniz de poliestireno expandido es durable en el tiempo, 18 meses, como protector frente a ataque de hongos de pudrición café en madera de pino radiata D. Don, antes que el barniz de poliestireno expandido falle como fungicida fallará la apariencia y adhesión de este.

Lo que concuerda con lo descrito por Knaebe (1995), Kauman (1996), los barnices tienen corta vida y prácticas inadecuadas durante el acabado pueden causar fallas tempranas del sustrato y del acabado por lo que requiere mantenimiento cada uno o dos años para mantener una apariencia satisfactoria y funcionamiento razonable.

Por lo que para este caso se recomienda realizar mantenimiento cada año. Se debe controlar la adherencia antes de utilizar este barniz como una solución definitiva para proteger la madera de pino radiata de forma estructural.

Recomendaciones

Previo al barnizado de la madera se recomienda realizar una imprimación con una disolución de medio litro de agua ras por un galón del producto, para el barniz marino y para el barniz de poliestireno expandido, una disolución de un litro de d-limoneno por 100 gr de poliestireno expandido.

Para futuras investigaciones se recomienda mejorar la adherencia con ligantes como resinas alquílicas y ácidos grasos secantes. Mejorando la adherencia en el barniz de poliestireno expandido se podría considerar su aplicación en interior como vitrificado de la madera.

Conocer el comportamiento de este barniz fungicida con pigmentos como los óxidos de hierros transparentes. También mejorar las propiedades frente a la radiación ultra violeta con absorbentes UV y antioxidantes. Además de probar el comportamiento del barniz con más capas.

Cabe destacar que al momento de incorporar sustancias a esta disolución, barniz de poliestireno expandido, se debe tener en cuenta que en lo posible sean sustancias amigables con el medio ambiente para no perder el sentido del reciclaje.