

VIDA ÚTIL DE DOS BARNICES PARA EXTERIORES MEDIANTE INTEMPERISMO ARTIFICIAL EN MADERA DE AILE, PINO Y ENCINO

J. C. Tamarit-Urias¹; A. Borja-de la Rosa²; R. Flores-Velázquez¹; A. Corona-Ambríz²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Centro. km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla. C. P. 74100. Tlahuapan, Pue. México. Correo-e: jctamarit@hotmail.com

²Universidad Autónoma Chapingo División de Ciencias Forestales. km. 36.5 Carretera México-Texcoco C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. México Correo-e: aborja@taurus1.chapingo.mx

RESUMEN

La principal función de los acabados para exteriores es proteger la madera contra los agentes del intemperismo, así como ayudar a mantener su apariencia. El intemperismo causa deterioro superficial y por lo tanto afecta directamente el funcionamiento del acabado. El objetivo de este estudio fue determinar la vida útil del acabado de dos barnices poliuretanos para exteriores de la marca comercial Polyform® (11000 y 7000) en madera de aile (*Alnus firmifolia* Fernald), pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) y encino (*Quercus insignis* Mart. et Gal.) mediante intemperismo acelerado utilizando un equipo fabricado con base en las características que especifica el Reglamento del Centro Técnico de la Madera de Francia (rueda del CTBA de Francia). Mediante los parámetros de falla en apariencia y falla por adhesión del acabado y utilizando el modelo de distribución acumulativa de Weibull se estimó la vida útil del acabado, la cual fue para el acabado del barniz 11000 en madera de aile, pino y encino de 5.0, 5.2 y 5.0 años respectivamente, en tanto que para el barniz 7000 fue de 3.7, 3.4 y 4.9 años.

PALABRAS CLAVE: intemperismo acelerado, acabados para exteriores, vida útil, falla en apariencia, falla por adhesión.

SERVICE LIFE OF TWO VARNISHES FOR OUTDOOR USE ON ALDER, PINE AND OAK WOOD UNDER ARTIFICIAL WEATHERING

SUMMARY

The main function of any wood finish for outdoors is to protect the wood surface from weathering processes, as well as to maintain its appearance. Weathering brings about surface deterioration, and therefore, it directly affects finish performance. The objective of this study was to determine the finish service life of two commercial polyurethane varnishes for outdoors (Polyform® 11000 and 7000) on alder (*Alnus firmifolia* Fernald), pine (*Pinus patula* Schl. et Cham.) and oak (*Quercus insignis* Mart. et Gal.) by means of accelerated weathering on a CTBA degradation wheel. Failure data in appearance and in adhesion were fitted to a Weibull accumulative distribution to estimate the finish service life. According to the obtained results, service life on alder, pine and oak wood was 5.0, 5.2 and 5.0 years, respectively, for varnish 11000, and 3.7, 3.4 and 4.9 years, respectively, for varnish 7000.

KEYWORDS: accelerated weathering, finishing for outdoors, service life.

INTRODUCCIÓN

Como todo material biológico, la madera es susceptible a la degradación por el medio ambiente; cuando se expone al exterior, una combinación de factores químicos, mecánicos y de energía lumínica desarrollan un complejo conjunto de reacciones que contribuyen a la degradación superficial, esto es conocido como intemperismo (Sell y Feist, 1986).

El intemperismo produce en la madera expuesta al exterior cambios de color, superficies ásperas, rajaduras,

grietas, alabeos, pérdida de cohesión y fragmentación en astillas. Los factores del intemperismo responsables de los cambios en la superficie de la madera son la radiación solar, la humedad, la temperatura y el oxígeno. La radiación solar es la que más daño causa y es la que inicia una variedad de cambios químicos sobre la superficie (Feist, 1994).

Para disminuir los problemas ocasionados a la madera por el intemperismo es necesario protegerla con sustancias llamadas acabados. Éstos, además de cumplir

una función decorativa, dan cierto grado de protección contra algunos agentes de deterioro. Se clasifican en 1) acabados que forman película, como barnices, lacas y pinturas y, 2) acabados que penetran a través de la superficie de la madera, como los tintes pigmentados. Los barnices, son productos compuestos por aglutinantes, plastificantes, disolventes y diluyentes que posterior a su aplicación y estando secos originan una película insoluble al agua, adherente y dura, generalmente lisa y brillante; el ser transparentes permiten revelar el grano intensificar el color natural y la textura de la madera, por esta característica es que este tipo de acabados tiene mayor preferencia sobre aquellos que alteran u ocultan el color, brillo, grano y textura de la madera (Castillo y Erdoiza, 1995).

La investigación en el área de acabados busca mejorar la estabilidad de la superficie de la madera, combatir los efectos deletéreos del ambiente y perfeccionar las propiedades de los productos de acabado. Para conocer la durabilidad de estos productos, existen varios tipos de cámaras de envejecimiento bajo condiciones de intemperismo acelerado, entre las cuales la "rueda" francesa es relativamente fiable y no muy costosa, el objeto de estos aparatos es determinar la vida potencial del acabado por medio de ciclos acelerados de rayos ultravioleta, calor y lluvia (Arnold *et al.*, 1992; Kauman, 1996).

Las maderas sin protección expuestas al intemperismo experimentan: 1) fotodegradación y fotooxidación por la luz ultravioleta (UV), 2) lixiviación, hidrólisis e hinchamiento por el agua y, 3) decoloración, degradación por manchado y deterioro por microorganismos. La superficie se torna áspera por la fotodegradación, se agrieta y erosiona; la apariencia cambia marcadamente en pocos meses y después permanece casi sin alteraciones por varios años (Williams y Feist, 1993).

La luz no penetra más allá de las 0.20 micras, por lo tanto las reacciones de degradación en la madera son un fenómeno superficial. Los radicales libres generados en la madera por la luz interactúan con el oxígeno para producir hidroperóxidos que son fácilmente descompuestos para producir grupos cromofóricos. Un cambio en la celulosa, hemicelulosa y lignina da como resultado final un cambio en la estructura molecular de la madera (Feist, 1994).

La oxidación de la superficie de la madera catalizada por la luz UV causa la descomposición de la ligno-celulosa, seguida por una lixiviación de los productos degradados debido a la lluvia. La expansión y contracción causados por el humedecimiento y secado intermitente de la superficie de la madera origina el grano levantado,

rajaduras, grietas, alabeos y deformaciones; estos cambios físicos asociados con el intemperismo son causados por la inestabilidad dimensional de la madera debida a cambios en el contenido de humedad (Sell y Feist, 1986).

El proceso de degradación por la luz UV se inicia por la formación de radicales libres y con la oxidación del hidroxil fenólico. Esta degradación resulta en un decremento en metoxil y contenido de lignina y un incremento en acidez y concentración de carboxil de la sustancia madera. Estos cambios fotoquímicos pueden incrementarse con el aumento de humedad y calor. Los productos de descomposición de la madera intemperizada, en adición a los gases y agua son principalmente ácidos orgánicos, vainillina, siringilaldehído y componentes de alto peso molecular, los cuales son todos lixiviables (Feist, 1994).

La lignina absorbe mayor radiación UV y es la primera en degradarse, perdiéndose componentes aromáticos, los grupos carbonilos se incrementan debido a la oxidación de la celulosa y la lignina. La cantidad de lignina se reduce y lixivia por el agua, disminuyendo así su capacidad para repelerla; el contenido de celulosa se incrementa debido a que es higroscópica, tiene mayor resistencia al intemperismo y a que la lignina se degrada, aumentando así la concentración de grupos hidroxil y entonces cuando una gota hace contacto, se presenta una mayor reacción entre estos grupos y la madera (Kalnins y Feist, 1993; Feist, 1994).

A una mayor concentración de extractivos mayor es el ángulo de contacto entre el agua y la superficie y por tanto la capacidad de humedecimiento es menor. El mecanismo por el cual el intemperismo hace que la madera sea más humedecida por el agua es debido en parte a la foto oxidación de los extractivos lo que lleva a la formación de productos volátiles y a que los materiales solubles en agua son eliminados de la superficie expuesta (Kalnins y Feist, 1993).

La erosión de la madera, es el resultado de la degradación fotoquímica y de un mecanismo de abrasión debido al agua, lluvia y viento. La tasa de erosión de la madera por unidad de tiempo, depende de la densidad básica y por tanto del espesor de pared celular. La extensión de la erosión es uniforme en angiospermas y con relieve en gimnospermas, en éstas, la madera tardía se erosiona más lentamente que la madera temprana (Williams *et al.*, 1990).

La función primaria de un acabado en la madera expuesta al exterior es proteger su superficie del proceso natural de intemperización. La degradación fotoquímica

también afecta el funcionamiento del acabado; los cambios dimensionales que sufre la pieza de madera combinados con los esfuerzos de tensión, compresión, cizallamiento y torsión en la superficie, causan un decremento en la adhesión entre el acabado y la madera (Williams y Feist, 1993).

Durante el primer o segundo año de exposición al exterior de la madera que ha sido recubierta adecuadamente, el efecto de la estructura de la madera usualmente es muy pequeño sobre el comportamiento del recubrimiento. Más tarde, cuando con el tiempo el recubrimiento ha comenzado a tornarse quebradizo, las diferencias en la estructura de las maderas cobran importancia y determinan la rapidez de la desintegración del recubrimiento (FPL, 1987).

Las propiedades de la madera que son importantes considerar en la elección del acabado a usar son: contenido de humedad, densidad básica, textura, extractivos, ancho y orientación de los anillos de crecimiento y los defectos como los nudos, madera de reacción e infestación por hongos. Otros factores que contribuyen son la naturaleza y calidad del acabado usado, la técnica de aplicación, pretratamientos, tiempo transcurrido para hacer una segunda aplicación, nivel de protección aplicado y las condiciones climáticas locales (Alegri, 1994; Knaebe, 1995).

Para el acabado se prefieren aquellas maderas que se expanden y contraen al mínimo, las tablas de corte radial son mejores que las de corte tangencial, especialmente para su uso en el exterior en donde se tiene un rango amplio de humedad relativa y un humedecimiento periódico que produce un rango amplio de expansión y contracción de la madera. Debido a que la expansión de la madera es directamente proporcional a la densidad, las especies de baja densidad son las más apropiadas y preferidas sobre aquellas de alta densidad, ya que retienen mejor los acabados y la durabilidad de éstos es mayor. La presencia de nudos y de madera juvenil liberan más fácilmente los extractivos los cuales son exudados a través del acabado (Knaebe, 1995).

La madera es un material higroscópico y la humedad al penetrarla tiende a cubrir sus elementos constitutivos, desplazando el recubrimiento formado por el acabado, este tipo de falla es la responsable de la pérdida de transparencia de los barnices. Los extremos de las piezas en dirección al grano toman y ceden humedad más rápidamente que los extremos laterales; la albura absorbe e intercambia humedad más rápido que el duramen, la madera temprana absorbe más humedad que la madera tardía (Feist, 1994).

Las pinturas y tintas proporcionan mayor protección contra el intemperismo y deben ser renovadas cada cinco o 10 años; las tintas requieren mantenimiento cada dos o cuatro años; los barnices tienen corta vida y prácticas inadecuadas durante el acabado pueden causar fallas tempranas del sustrato y del acabado por lo que requieren de mantenimiento cada uno o dos años para mantener una apariencia satisfactoria y un funcionamiento razonable, siendo necesario la aplicación de varias capas por lo que los costos de su mantenimiento son altos (Knaebe, 1995; Kauman, 1996).

Dependiendo del tipo de acabado, será el tipo de falla que presente por efecto del intemperismo; las fallas de los barnices y las pinturas se dan por rajado, pelado, presencia de ampollas, grietas finas y abundantes, descascamiento y erosión, ésto debido a la gran diferencia en los coeficientes de expansión de la madera y a que la capa formada por el acabado no es lo suficientemente plástica; los acabados que penetran como las tintas a menudo resultan en una delaminación sustancial de la superficie en forma de escamas, presentando una pobre apariencia que no puede ser corregida con un reacabado (FPL, 1987; Williams y Feist, 1993).

El objetivo del estudio fue 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.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo en Chapingo, estado de México y en las instalaciones del Campo Experimental "San Martinito" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicadas en San Martinito Tlahuapan, Puebla.

Se probaron los barnices 11000 y 7000, ambos de tipo poliuretano alifático para exteriores de la marca comercial Polyform®. En el Cuadro 1 se muestran sus características físicas.

Se utilizaron probetas de madera con dimensiones de 30 x 10 x 1 cm de las especies *Alnus firmifolia* (aile), *Pinus patula* (pino) y *Quercus insignis* (encino). Las características que se analizaron por influir en el funcionamiento y durabilidad del acabado se presentan en el Cuadro 2.

CUADRO 1. Características físicas de elaboración de los barnices probados.

Característica	Barniz brillante 7000	Barniz intemperie 11000
Tipo de resina	Poliuretano alifático	Poliuretano alifático
Rendimiento teórico por litro	20 m ² a 1 milésima de pulgada	30 m ² a 1 milésima de pulgada
Tiempo de secado al tacto	30 min. a 1 hora	2 a 4 horas
Tiempo para repintado	2 a 5 horas	2 a 4 horas
Tiempo de gelado	8 horas	8 horas
Tiempo de fraguado	7 horas a 3 días	5 días
Contenido de sólidos	50% ± 1	69% ± 1
Viscosidad	200-300 Centipoises	100-300 Centipoises
Densidad	1.01-1.03 g/cm ³	0.98-1.0 g/cm ³
Ph	7 ± 0.5	7 ± 0.5
Dureza en el Sward Rocker Hardness	40	68

CUADRO 2. Características de las especies utilizadas como sustrato.

Especie	Densidad básica (g/cm ³)	Espacios vacíos (%)	Textura
Aile	Baja (0.39)	74.50	Fina
Pino	Media (0.49)	67.33	Media
Encino	Alta (0.70)	44.75	Gruesa

Las probetas se lijaron utilizando una lijadora portátil de banda y una lija del número 100 con el fin de preparar la superficie para la aplicación de los barnices. Antes de la aplicación del barniz, para poder determinar tanto el nivel de retención como el espesor de película del acabado, todas las probetas fueron pesadas en una balanza analítica electrónica digital con precisión a centésimas de gramo. El espesor de las probetas fue medido en la parte media en cada uno de sus cuatro lados con un vernier digital con precisión a diezmilésimas de milímetro.

El proceso de barnizado fue por medio de brocha, se aplicaron 4 manos en todos los lados de las probetas de madera utilizadas como sustrato. Solo en los cabezales se aplicaron 6 manos. Con el fin de obtener una viscosidad de aplicación adecuada, los barnices se adelgazaron con thinner 17000, agregando un 25 % de este producto. Se aplicaron dos capas por día, con intervalos de cuatro horas; para lograr una mejor adherencia entre capas, se asentó solo en el lapso entre día y día con lija de agua número 240.

A las probetas barnizadas se les determinaron con el mismo equipo especificado anteriormente los valores de espesor y peso. Con los datos de espesor antes y después de la aplicación del acabado, se obtuvo por diferencia el espesor total alcanzado en mm para cada barniz probado en cada madera utilizada como sustrato. Con los datos de peso, también por diferencia entre estos y dividiendo entre la superficie total de la probeta, se determinó el nivel de retención total alcanzado en g/cm².

Con los datos obtenidos de estas mediciones se realizó una comparación de medias utilizando el método de Tukey, considerando un nivel de significancia del 5 %. Para hacer el análisis de la comparación de medias, se utilizó el paquete SAS (Statistical Analysis System), el análisis se realizó para los factores: densidad básica, textura y tipo de barniz, considerando como variable respuesta la retención total del acabado y el espesor total de película.

Los dos barnices probados y las tres especies usadas como sustrato conformaron seis tratamientos de acabado; se utilizó un total de 42 probetas barnizadas, correspondiendo 14 probetas a cada especie y 7 para cada tipo de barniz, teniendo de esta forma 7 repeticiones para cada tratamiento. Las probetas se expusieron a intemperismo artificial acelerado utilizando un equipo fabricado con base en las características que especifica el Reglamento del Centro Técnico de la Madera de Francia conocido como la "rueda" francesa. Las probetas se montaron en la periferia de la rueda de manera intercalada, se fijaron con la ayuda de baguetas de aluminio y tornillos galvanizados.

El proceso cíclico de intemperismo acelerado a que fueron sometidas las probetas consistió en 12 minutos de inmersión en agua destilada a una temperatura promedio de 16 °C, 27 minutos al aire libre a una temperatura promedio de 20 °C y a una humedad relativa promedio del 35%, 24 minutos de exposición a luz ultravioleta 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 a una humedad relativa promedio del 35 %.

Se realizaron evaluaciones cuantitativas cada 100 horas hasta las 4300 horas de exposición. Cada evaluación consistió en determinar en mm² y en porcentaje la falla por apariencia y la falla en adhesión en la interfase acabado-madera. La falla por apariencia se determinó utilizando

hojas de acetato del mismo tamaño de las probetas, cuadrículadas cada 1 x 1, 2 x 2 y así hasta cada 10 x 10 mm, se utilizó la cuadrícula que mejor se ajustó al ancho de las áreas degradadas, sobreponiendo la cuadrícula sobre la probeta se cuantificó la superficie de barniz degradado. La falla en adhesión se determinó utilizando cinta adhesiva tipo diurex de alta adherencia, colocando una tira en el centro de cada probeta en dirección al grano aplicando presión uniforme con el dedo pulgar en una superficie de 645.16 mm² y posteriormente desprendiéndola de un tirón, se tomó una sola muestra en cada evaluación, las tiras se colocaron en hojas de papel milimétrico tipo albanene cuantificando así la cantidad de barniz desprendido.

Los datos observados se ajustaron estadísticamente utilizando el modelo no lineal de distribución acumulativa de Weibull en el paquete SAS, el cual es utilizado para estimar el tiempo de falla de componentes y sistemas (Hines y Montgomery, 1997). Con los datos ajustados, se determinó el tiempo en horas en que se alcanza el 10% de degradación del acabado, el cual es el recomendado por el fabricante de los productos para dar mantenimiento al acabado, la ecuación utilizada y que se deriva del modelo de Weibull fue:

$$t = \alpha \left\{ \ln \left(\frac{1}{1 - F_x(t)} \right) \right\}^{\frac{1}{\beta}}$$

Donde:

t: Tiempo de exposición en horas.

Ln: Logaritmo natural.

F_x(t): Proporción de falla para el tiempo de exposición *t*.

a: Parámetro de escala.

b: Parámetro de forma.

Con estos tiempos y con base en lo reportado por Podgorski *et al.* (1996), quienes indican que 1 hora de exposición bajo condiciones de intemperismo artificial en la "rueda" francesa equivale a 10 horas de exposición bajo condiciones de intemperismo natural, se estimó el tiempo de vida útil de los productos de acabado en horas con su correspondiente equivalencia en años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos estadísticamente al realizar la prueba de comparación de medias de Tukey para las variables: especie, densidad básica, textura y tipo de barniz en los parámetros espesor de película y nivel de retención de los barnices probados.

Para ambos tipos de barnices el espesor de película en madera de aile tuvo los valores más altos y presentó diferencia estadística significativa en cuanto a textura y densidad básica en comparación con el pino y encino, en tanto que entre estas dos últimas maderas no existe tal diferencia; este resultado coincide en parte con los reportados por Flores *et al.* (1996) y Tamarit *et al.* (1998), quienes indican que este comportamiento puede ser atribuido al hecho de que las maderas de textura fina y baja densidad, tienen una mayor estabilidad dimensional y sus elementos constitutivos se encuentran ordenados homogéneamente, además de que poseen mayor porcentaje de espacios vacíos y en consecuencia una menor proporción de pared celular, lo anterior permite una mejor preparación de la superficie sobre la que se aplicará el acabado, dejándola más tersa y uniforme.

CUADRO 3. Espesor de película y retención para las variables estudiadas.

Variable	Espesor de película (mm)	Nivel de retención (gr/m ²)
Especie:	DSH = 0.0151	DSH = 5.9174
Aile	0.1215 a	87.18 a
Pino	0.0815 b	82.90 a
Encino	0.0892 b	52.52 b
Textura:	DSH = 0.0151	DSH = 5.9174
Fina	0.1215 a	87.18 a
Media	0.0815 b	82.90 a
Gruesa	0.0892 b	52.52 b
Densidad básica:	DSH = 0.0151	DSH = 5.9174
Baja de 0.39	0.1215 a	87.18 a
Media de 0.49	0.0815 b	82.90 a
Alta de 0.70	0.0892 b	52.52 b
Barniz:	DSH = 0.0103	DSH = 4.0269
Tipo 11000	0.0901 a	82.13 a
Tipo 7000	0.1047 b	66.93 b

DSH: Diferencia Significativa Honesta. Medias con letras iguales son estadísticamente iguales.

Para el nivel de retención, se observó que el encino presenta los valores más bajos en ambos barnices y existe diferencia estadística significativa para las variables textura y densidad básica en comparación con el pino y aile, mientras que entre estas dos últimas no existe tal diferencia. Este comportamiento coincide con lo reportado por Wang y DeGroot (1996) que explican que esto es debido en parte a que el encino pertenece al grupo *Leucobalanus* (encinos blancos), que se caracterizan por que poseen una baja permeabilidad por contener tálides que obstruyen el libre paso de los líquidos, por lo que al aplicar el acabado, éste no penetró en la superficie de la madera; además del hecho de que esta madera posee una alta densidad y por lo tanto una menor proporción de espacios vacíos, lo que influyó para que se tuviera una baja retención.

Los dos barnices probados, también presentan diferencia estadística significativa tanto para el parámetro espesor de película como para el nivel de retención, el barniz 11000, presentó el menor espesor de película y el mayor nivel de retención en comparación con el barniz 7000, esto es debido a que las características físicas son diferentes en cada barniz, principalmente en cuanto a contenido de sólidos y densidad.

Hasta las 400 horas de exposición solo se observó en todas las probetas cambios en los tonos de coloración como resultado de la foto oxidación en la madera por efecto de los rayos UV, lo cual coincide con lo señalado por Sell y Feist (1986); Williams y Feist (1993); Feist (1994) quienes indican que la superficie de la madera cambia de coloración al poco tiempo de exposición al intemperismo para después permanecer casi sin alteraciones. Estos cambios de coloración fueron más marcados en las probetas acabadas con el barniz 7000 que con el 11000, lo cual se explica por el hecho de que el primero tiene un menor contenido de sólidos lo que implica una menor protección contra los rayos UV.

En el Cuadro 4, se presentan los valores de falla por apariencia y por adhesión alcanzados al final del experimento para cada tratamiento.

CUADRO 4. Valores finales alcanzados de falla por apariencia y por adhesión.

Especie	Barniz	Falla por apariencia		Falla por adhesión	
		mm ²	%	mm ²	%
Aile	11000	1572.43	5.24	0.29	0.04
	7000	12268.57	40.90	272.14	42.18
Pino	11000	1662.43	5.54	30.71	7.76
	7000	12488.86	41.63	522.57	81.00
Encino	11000	1759.57	5.87	78.43	12.16
	7000	2962.71	9.88	49.14	7.62

Para el barniz 11000, después de las 1200 horas de exposición, la degradación del acabado en madera de pino y encino se incrementó marcadamente superando al aile, esto coincide con lo señalado por el FPL (1987), en el sentido de que el efecto de la estructura de la madera cobra importancia cuando el acabado con el transcurso del tiempo empieza a fallar, determinándose así la rapidez de degradación de éste, constatándose de esta manera el supuesto de que maderas de baja densidad, textura fina e hilo recto retienen mejor el acabado y dan una mayor durabilidad.

Para el barniz 7000, la degradación del acabado en encino siempre fue menor comparativamente con el del aile y pino, aún a pesar de que esta madera posee alta

densidad y textura gruesa; la explicación de este comportamiento puede atribuirse al hecho de que la especie a la que pertenece esta madera es del grupo denominado *Leucobalanus*, que se caracterizan por tener una gran cantidad de tálides en sus vasos y gran cantidad de extractivos que la hacen menos permeable, coincidiendo con lo reportado por Sell y Feist (1986); Williams *et al.* (1990); Kalnins y Feist (1993), en el sentido de que los extractivos tienen una influencia significativa en la capacidad de humedecimiento y es sólo hasta que estos han sido fotooxidados y lixiviados cuando se presenta una alta capacidad de humedecimiento y se manifiesta una alta inestabilidad dimensional, provocando hasta ese momento la falla del acabado.

El comportamiento en la degradación del acabado para el barniz 11000 en la madera de pino y aile fue muy similar, siendo mayor en pino, lo cual es un resultado que coincide con lo señalado por FPL (1987); Williams y Feist (1993); Alegri (1994); Knaebe (1995), ya que el pino tiene mayor densidad y textura media, además no presenta porosidad y en cambio si tiene canales resiníferos y bolsas de resina, siendo estas dos últimas características las que impidieron una mejor retención del acabado.

El comportamiento general de la falla por pérdida de adhesión coincide con lo señalado por Williams *et al.* (1993b); Knaebe (1995), en el sentido de que especies de baja densidad y textura uniforme retienen mejor los acabados que aquellas de alta densidad y de textura áspera, además de que la adhesión está determinada por la naturaleza física y química de la superficie, ya que la madera de encino presenta un alto contenido de extractivos, en tanto que la de pino tiene canales resiníferos, bolsas de resina y bandas anchas de madera temprana, factores que afectaron directamente para que la unión entre el acabado y la madera de estas dos especies fuera baja alcanzando al final del experimento un 12.16 y 4.76% de pérdida de adhesión respectivamente.

En tanto, la madera de aile por poseer baja densidad, textura fina e hilo recto, además de que presentó los más altos valores de espesor de película y retención del acabado, fueron condiciones que favorecieron para que la falla total por pérdida de adhesión fuera baja.

Los niveles de falla alcanzados con el barniz 11000 son relativamente bajos comparados con los alcanzados con el acabado del barniz 7000, situación que coincide con Williams y Feist (1993), quienes indican que esta situación se atribuye más a las características físicas de elaboración de los productos de acabado que a las diferencias de las maderas utilizadas como sustrato.

Un factor adicional que explica el hecho de que el pino presentara el mayor nivel de falla por pérdida de adhesión, es que este presentó bandas anchas de madera

temprana, lo cual de acuerdo con Williams *et al.* (1990); Williams y Feist (1993), este tipo de madera se degrada más rápidamente que la tardía, lo que conlleva a que en esta última la unión con el acabado sea más fuerte por estar menos intemperizada.

Los resultados de falla por pérdida de adhesión guardan una relación estrecha con aquellos de falla por apariencia o degradación del acabado, en todos los casos se observó que la falla por adhesión sólo se manifestaba únicamente cuando la falla por apariencia estaba presente.

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la degradación del acabado para cada tratamiento hasta las 6000 horas de exposición. Para todos los tratamientos puede observarse claramente que el 10 % de falla por degradación del acabado ocurre después de las 3000 horas de exposición, alcanzándolo primero el acabado del barniz 7000 en madera de pino y el último en degradarse hasta ese por ciento fue el tratamiento que conforma el acabado con el barniz 11000 y madera de pino, los que constituyen el peor y el mejor tratamiento respectivamente.

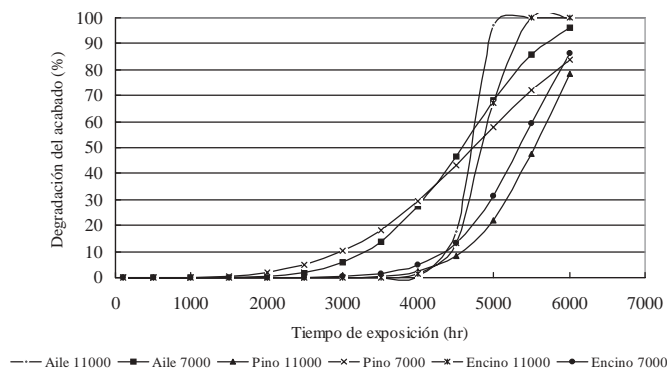


Figura 1. Comportamiento de la degradación del acabado por especie y barniz aplicando la distribución de Weibull.

En el Cuadro 5 se presenta el tiempo de vida útil estimado para el acabado con los barnices 11000 y 7000 en madera de aile, pino y encino. En este tiempo es cuando se presenta el 10 % de degradación de la superficie acabada en la que es necesario, de acuerdo con el fabricante del producto, dar mantenimiento al acabado.

CUADRO 5. Tiempo de vida útil del acabado con los barnices 11000 y 7000 en madera de aile, pino y encino.

Vida útil	Especie					
	Aile		Pino		Encino	
	11000	7000	11000	7000	11000	7000
Horas	43900	32910	45880	29840	44330	43440
Años	5.0	3.7	5.2	3.4	5.0	4.9

Los tiempos aquí determinados son muy superiores a los indicados por Flores (1999) para los acabados en pino y encino con el barniz 11000, este resultado puede atribuirse al hecho de haber aplicado cuatro capas de acabado en ambas caras de las probetas, así como en los cantos y seis capas en los cabezales, lo cual coincide con Feist (1994); Knaebe (1995); Kauman (1996), quienes indican que para una mayor protección, resistencia y durabilidad, los acabados transparentes para uso en exteriores requieren ser aplicados en varias capas.

CONCLUSIONES

Los mejores tratamientos de acabado fueron con el barniz 11000 y madera de pino, aile y encino, con una vida útil de 5.2 años el primero y 5.0 años los dos últimos. El acabado con el barniz 7000 presentó la menor vida útil, siendo de 3.7, 3.4 y 4.9 para la madera de aile, pino y encino respectivamente.

Los índices de espesor de película y nivel de retención del acabado fueron mayores en la madera de aile, presentando diferencia estadística significativa en las variables densidad básica y textura en comparación con los obtenidos para el pino y encino.

El nivel de retención alcanzado por el encino fue menor y presentó diferencia estadística significativa en las variables densidad básica y textura en comparación con el alcanzado en madera de pino y aile.

Las características anatómicas de la madera de encino por pertenecer al grupo de los Leucobalanus, influyeron para que en el acabado con el barniz 7000 la falla en apariencia fuera menor que en aile y pino.

LITERATURA CITADA

- ALEGRI F., E. 1994. Seminario sobre acabado y tapizado del mueble. AIDIMA. Instituto Tecnológico del Mueble y Afines. Valencia, España. s/p.
- ARNOLD, M., W. C. FEIST y R. S. WILLIAMS. 1992. Effect of weathering of new wood on the subsequent performance of semi-transparent stains. *Forest Products Journal*. 42(3): 10-14.
- CASTILLO M., M. I. y J. J. ERDOIZA S. 1995. Acabados para madera en exteriores. *Madera y Bosques*. 1(2): 9-22.
- FEIST, W. C. 1994. Weathering performance of finished aspen siding. *Forest Products Journal*. 44(6): 15-23.
- FLORES V., R., A. BORJA DE LA R. y J. A. HONORATO S. 1996. Retención y grosor de película de barniz poliuretano base agua y base solvente en la madera de *Pinus montezumae* y *Quercus sideroxylla*. In: Libro de Resúmenes. I Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Xalapa, Ver. 13-16 de noviembre de 1996. p 48.
- FLORES V., R. 1999. Determinación a través de pruebas aceleradas de la vida útil del acabado para exteriores en madera de encino y pino. Tesis de maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx. 63 p.

- FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). 1987. Wood Handbook: Wood as an engineering material. Agricultural Handbook No. 72. USDA, Washington, DC. 466 p.
- HINES W. W. y D. C. MONTGOMERY. 1997. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. 3a. ed. Editorial CECSA. México, D. F. 839 p.
- KALNINS, M. A. y W. C. FEIST. 1993. Increase in wettability of wood with weathering. Forest Products Journal. 43(2): 55-57.
- KAUMAN, W. G. 1996. El panorama a nivel mundial de la investigación en productos forestales. In: Libro de Resúmenes. I Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Xalapa, Ver. 13-16 de noviembre de 1996. pp: 51-68.
- KNAEBE, M. 1995. The finish line. Forest Service. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. s/p.
- PODGORSKI, L., A. MERLIN y X. DEGLISE. 1996. Analysis of the natural and artificial weathering of a wood coating by measurement of the glass transition temperature. Holzforschung. 50(3): 282-287.
- SELL, J. y W. C. FEIST. 1986. U. S. and European finishes for weather - exposed wood - a comparison. Forest Products Journal. 36(4): 37-41.
- TAMARIT U., J. C., A. BORJA DE LA R. y R. FLORES V. 1998. Influencia de las características anatómicas en la retención y grosor de película de dos barnices para exteriores. In: Resúmenes de ponencias. II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Morelia, Mich. 25-27 de noviembre de 1998. p 29.
- WANG, J. Z. y R. DeGROOT. 1996. Treatability and durability of heart-wood. pp. 252-260.
- WILLIAMS, R. S. y W. C. FEIST. 1993. Durability of paint or solid-color stain applied to preweathered wood. Forest Products Journal. 43(1): 8-14.
- WILLIAMS, R. S., P. L. PLANTIGA y W. C. FEIST. 1990. Photodegradation of wood affects paint adhesion. Forest Products Journal. 40(1): 45-49.