



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE DOS
BARNICES MEDIANTE INTEMPERISMO ACELERADO,
APLICADOS EN MADERA PROVENIENTE DE
PLANTACIONES DE SIETE AÑOS.**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

JUANA LAURA RIVERA NAVA

**Mayo de 2003
Chapingo, Texcoco, Edo. de México**



**DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**



**DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE DOS BARNICES MEDIANTE
INTEMPERISMO ACELERADO, APLICADOS EN MADERA PROVENIENTE
DE PLANTACIONES DE SIETE AÑOS**

Tesis realizada por **Juana Laura Rivera Nava** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:


DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:


M. en C. ROGELIO FLORES VELÁZQUEZ

ASESOR:


M. en C. ALEJANDRO CORONA AMBRÍZ

DEDICATORIA

A mi Padre Eterno y a mi Señor Jesús

A mi familia, en especial a mi mamá y a Rocío: “Jehová te bendiga, y te guarde; Jehová haga resplandecer su rostro sobre ti, y tenga de ti misericordia; Jehová alce sobre ti su rostro, y ponga en ti paz” (Números 6: 24-26).

A Lauril: “Sabiduría ante todo; adquiere sabiduría; y sobre todas tus posesiones adquiere inteligencia” (Proverbios 4:7).

“Dios da más importancia a lo que somos, que a lo que hacemos” (Watchman Nee).

A Paty: “Jehová recompense tu obra, y tu remuneración sea cumplida de parte de Jehová Dios de Israel, bajo cuyas alas has venido a refugiarte” (Rut 2:12).

A Citlali: “En todo tiempo ama el amigo, y es como un hermano en tiempo de angustia” (Proverbios 17:17).

A los tecnólogos de la madera, a mis profesores del posgrado, a mis amigos de la UACH y a las personas de la UAM-I que me han apoyado.

“El temor de Jehová es el principio de la sabiduría, y el conocimiento del Santísimo es la inteligencia” (Proverbios 9:10).

“El corazón del entendido adquiere sabiduría; y el oído de los sabios busca la ciencia” (Proverbios 18: 15).

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por ser mi todo. Gracias Señor por darme la vida y la oportunidad de continuar. Jesús, mi fiel amigo: gracias por la salvación.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Forestales por permitirme seguir con mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el otorgamiento de una beca para la realización de los estudios de postgrado.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa por su dirección y aportaciones en este trabajo y por el apoyo en la conclusión del mismo.

Al M.C. Rogelio Flores Velásquez y al M.C. Alejandro Corona Ambríz por las asesorías y revisiones de este trabajo.

Al Dr. Miguel Ángel Musálem y al Biólogo Antonio U. Ibars Vera por su apreciable ayuda para conseguir la madera de las especies utilizadas.

A los propietarios del Predio del Cerro del Águila, Comunidad de Zapoapan del Municipio de Catemaco, Veracruz por la donación de los árboles de *Cedrela odorata* L. y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda.

Al Campo Experimental "San Martinito" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por las facilidades otorgadas durante la fase experimental del presente trabajo.

A la Empresa Poly-Form[®] de México, S. A. de C. V. por su asesoramiento y donación de los barnices para iniciar la fase experimental de este trabajo.

A mi familia por su apoyo y ayuda.

A todos y cada uno de mis profesores del Posgrado.

Al Dr. J. A. Honorato Salazar por su tan apreciable ayuda y apoyo.

Al M.C. Mario Fuentes Salinas por sus muy importantes y oportunas asesorías.

A Maru (M.E.F.O.) y Ale (A. Q. I.) gracias por su apoyo.

A Mariana y Nacho por su ayuda; a Paty y al BCP por su tan apreciable apoyo y ayuda; Felipe II (F. Luna): gracias por tu apoyo y compañía (DTBM); gracias Arsenio por el préstamo del scanner; Sandy, Ely, the sister's Lion, Rosita, Vero, Dany, Lucero, Onésimo, Raúl, Manuel, Citlali (MÑH, DTBS), Angélica, Juanita, Mariano, Leopoldo, Armando y a todos los integrantes de la célula seis: gracias por los ánimos (DLBM); Chio (R. G. M): gracias por todo; Nato (R.C.O.): gracias por las asesorías; Memo Zenteno: gracias por la estadística ayuda (DTPCMHE); a todos mis hermanos (as) de la Co. Cri. Cha. (DLBM). Hernán y Nancy: gracias por la cobertura y respaldo espiritual (DLCMS, DLBS).

Colega: gracias, muchas gracias por los ánimos y el apoyo (GPLJDO. DSPCMHE, sí, aún más. DTBS).

A todos los compañeros de Maestría que compartieron su tiempo conmigo en las distintas materias.

A todas las personas y amigos que de alguna forma contribuyeron para la conclusión de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Juana Laura Rivera Nava es originaria de Texcoco, Edo. de México. Nació el 24 de Junio de 1973 en el pueblo de San Bernardino. La educación primaria la realizó en Texcoco, en el Instituto Hidalgo; la educación secundaria la llevó a cabo en la Escuela Secundaria Federal Emiliano Zapata de la Unidad Habitacional ISSSTE, Chapingo. Efectuó los estudios medios superiores en la Escuela Preparatoria Texcoco, dependiente de la Universidad Autónoma del Edo. de México.

En 1991 ingresó a la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapala, en la División de Ciencias Biológicas y de la Salud. En 1994 comienza a colaborar con el equipo de trabajo del Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la misma división; de dicha colaboración, se realizaron investigaciones cuyos resultados fueron presentados en reuniones académicas, congresos nacionales e internacionales (XIII Congreso Mexicano de Botánica, XXI Congreso Nacional de Histología, II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales, XXIII Congreso Nacional de Histología, II Congreso Internacional Etnobotánica '97, 7º Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica) y artículos. Además, tomó cursos y seminarios sobre Microscopía Electrónica. Obtuvo en 1998 el Título correspondiente a la Licenciatura en Biología Experimental.

Cubrió el 100% de créditos (agosto de 1998-junio de 1999) de la Especialidad en Microscopía Electrónica Aplicada a las Ciencias Biológicas, en la Universidad Nacional Autónoma de México.

En 1999 ingresó a la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Durante su estancia en el Posgrado tomó dos cursos sobre acabados y productos para madera, así como un seminario sobre uso y aplicación de la madera en construcciones residenciales. En noviembre de 2001 presenta parte de su trabajo de investigación en el V Congreso Mexicano de Recursos Forestales.

Durante el tercer semestre de la Maestría, después de percatarse que ninguna ideología o teoría simple o complicada podía satisfacer su vida secular y personal, comienza a adentrarse en el estudio de la Biblia volviéndose al poco tiempo al cristianismo, dando así inicio a una nueva vida plena y satisfecha tanto personal como profesional.

“El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir”
(Albert Einstein).

RESUMEN

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE DOS BARNICES MEDIANTE INTEMPERISMO ACELERADO, APLICADOS EN MADERA PROVENIENTE DE PLANTACIONES DE SIETE AÑOS.

JUANA LAURA RIVERA NAVA

Mayo de 2003

(Bajo la dirección de la Dra. Amparo Borja de la Rosa)

La función principal de los acabados utilizados al exterior es proteger la madera de la acción de los agentes del intemperismo, esencialmente agua y radiación UV, manteniendo y mejorando su apariencia. En este estudio se determinó la vida útil del acabado de dos barnices poliuretanos para exteriores de marca comercial Polyform[®] (hydroform[®] y 11000[®]) aplicados en madera de *Cedrela odorata* L. y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, provenientes de plantaciones comerciales mediante intemperismo acelerado utilizando un equipo fabricado con las especificaciones del Centro Técnico de la Madera y del Mueble (CTBA) de Francia. Se estimó la vida útil de los acabados con el modelo de distribución acumulativa de Weibull; para el barniz hydroform[®] fue de 1.02 años en cedro rojo y 2.18 años en primavera, mientras que para el barniz 11000[®] fue de 3.70 años en cedro rojo y 8.99 años en primavera.

Palabras clave: intemperismo acelerado, acabados para exteriores, vida útil, madera de plantaciones

ABSTRACT

DETERMINATION OF FINISH SERVICE LIFE OF TWO VARNISHES BY
ACCELERATED WEATHERING, APPLIED ON WOOD GROWTH IN SEVEN
YEAR-OLD PLANTATIONS.

JUANA LAURA RIVERA NAVA

May 2003

(Under the direction of Dra. Amparo Borja de la Rosa)

The main function of the finishes used outdoors is to protect the wood surface from weathering processes, mainly water and UV-light, maintaining and improving its appearance. In this study, it was determined the finish service life of two commercial polyurethane varnishes for outdoors (Polyform[®]: hydroform[®] and 11000[®]) applied on *Cedrela odorata* L. and *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, wood growth in commercial plantations by means of accelerated weathering on a degradation wheel manufactured with the specifications of the CTBA from France. The finish service life was estimated using a Weibull accumulative distribution; for the varnish hydroform[®] was 1.02 years for red cedar and 2.18 years for spring, while for the varnish 11000[®] was 3.70 years for red cedar was and 8.99 years for spring.

Key words: accelerated weathering, finishing for outdoors, service life, wood growth in plantations

CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS DE GRADO-----	ii
DEDICATORIA-----	iii
AGRADECIMIENTOS-----	iv
DATOS BIOGRÁFICOS-----	vi
RESUMEN-----	vii
<i>ABSTRACT</i> -----	viii
CONTENIDO-----	ix
LISTA DE CUADROS-----	xi
LISTA DE FIGURAS-----	xii
1. INTRODUCCIÓN-----	1
2. ANTECEDENTES-----	6
2.1 Efectos del intemperismo en la madera.-----	6
2.2 Factores que afectan la durabilidad del acabado.-----	9
2.3 Acabados.-----	16
2.4 Tratamientos para estabilizar la madera.-----	18
2.5 Evaluación del intemperismo.-----	21
2.6 Descripción de las especies.-----	25
2.6.1 <i>Cedrela odorata</i> L.-----	25

2.6.2 <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda-----	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS-----	29
3.1 Colecta del material.-----	29
3.2 Características del lugar de colecta.-----	31
3.3 Aspectos anatómicos.-----	32
3.4 Determinación de propiedades físicas.-----	32
3.5 Prueba acelerada de intemperismo.-----	37
3.5.1 Descripción del equipo.-----	38
3.5.2 Preparación del material de ensayo.-----	40
3.5.3 Método de ensayo.-----	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	48
4.1 Características analizadas en este estudio.-----	48
4.2 Propiedades físicas.-----	49
4.3 Prueba acelerada de intemperismo.-----	53
5. CONCLUSIONES-----	68
6. LITERATURA CITADA-----	70
ANEXOS-----	74

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Datos dasométricos de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda.-----	29
Cuadro 2	Características físicas de los acabados utilizados.-----	42
Cuadro 3	Probetas utilizadas para el ensayo.-----	44
Cuadro 4	Proporción de elementos constitutivos y su clasificación.-----	49
Cuadro 5	Resultados obtenidos de las pruebas físicas.-----	50
Cuadro 6	Comparación de medias poblacionales a partir de la prueba <i>t</i> de Student.-----	52
Cuadro 7	Valores promedio de los datos obtenidos y valores de datos reportados.-----	53
Cuadro 8	Valores de los parámetros escala y forma del modelo de Weibull.-----	66
Cuadro 9	Tiempo de vida útil del acabado con los barnices hydroform [®] y 11000 [®] en madera de cedro rojo y primavera.-----	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Colecta de material (plantaciones forestales comerciales de 7 años).--	30
Figura 2	Rodajas de <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (izquierda) y <i>Cedrela odorata</i> L. (derecha).-----	31
Figura 3	Rueda de degradación utilizada por el Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia (adaptada de Podgorski et al., 1996).-----	38
Figura 4	Equipo utilizado para el ensayo de intemperismo acelerado.-----	40
Figura 5	Probetas acabadas con el barniz hydroform [®] .-----	41
Figura 6	Probetas colocadas en el equipo de intemperismo acelerado.-----	43
Figura 7	Comportamiento del barniz hydroform [®] en apariencia inicial y apariencia después de la exposición a las condiciones de intemperismo acelerado de las probetas de <i>Cedrela odorata</i> L. (izquierda) y <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (derecha).-----	54
Figura 8	Degradación del barniz hydroform [®] a las 1200 horas en las probetas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo).-----	55
Figura 9	Degradación del barniz hydroform [®] a las 1200 horas en las probetas de <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera).-----	56
Figura 10	Valores promedios en cm ² y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz hydroform [®] en <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo) en función del tiempo de exposición en horas.-----	58
Figura 11	Valores promedios en cm ² y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz hydroform [®] en <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera) en función del tiempo de exposición en horas.-----	58

Figura 12	Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz 11000 [®] en <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo) en función del tiempo de exposición en horas.-----	61
Figura 13	Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz 11000 [®] en <i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera) en función del tiempo de exposición en horas.-----	62
Figura 14	Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz hydroform [®] aplicando la distribución de Weibull (cedro rojo).-----	63
Figura 15	Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz hydroform [®] aplicando la distribución de Weibull (primavera).-----	64
Figura 16	Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz 11000 [®] aplicando la distribución de Weibull (cedro rojo).-----	64
Figura 17	Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz 11000 [®] aplicando la distribución de Weibull (primavera).-----	65

1. INTRODUCCIÓN

La madera por su abundancia y características propias se ha utilizado como material para la elaboración de casas, muebles, herramientas, vehículos, instrumentos musicales y objetos decorativos entre otros. Por la disponibilidad en tamaños, formas y condiciones satisface casi todas las demandas. Estructuralmente tiene alta resistencia con relación a su peso, su funcionamiento y durabilidad es considerable. En estado seco presenta aceptables propiedades aislantes contra el calor, el sonido y la electricidad; absorbe y disipa vibraciones bajo algunas condiciones de uso. Se puede moldear fácilmente utilizando herramientas, puede fijarse con adhesivos, clavos, tornillos, pernos y clavijas. Cuando se daña se puede reparar, reconstruir o transformar, resiste a los golpes, a la oxidación, al ácido, al agua salada u otros agentes corrosivos, puede tratarse con preservadores y retardantes de fuego. Se puede combinar con otros materiales tanto para usos funcionales como estéticos al aplicarle algún acabado (FPL, 1999).

El acabado es la última fase del proceso de elaboración de cualquier producto terminado de madera; existen acabados transparentes como los barnices que resaltan y acentúan el estético veteado natural de la madera, las tintas proporcionan una apariencia rústica además de bloquear parcialmente el color y el veteado, las pinturas cubren completamente tanto el color como el veteado (Cassens y Feist, 1991; Alegri, 1994; Williams *et al.*, 1996).

La función principal de un acabado es la de proteger la superficie de la madera, ayudándole a mantener una cierta apariencia y proporcionándole facilidad de limpieza. Su elección dependerá de la apariencia y grado de protección deseada. El óptimo funcionamiento de los sistemas de acabado se logra cuando se tienen en completa consideración a los múltiples factores que los afectan. Esos factores incluyen el efecto del substrato madera, las propiedades del material de acabado, detalles de aplicación y severidad de la exposición (FPL, 1999).

Las superficies de madera que son más adecuadas para la aplicación de un acabado son las que tienen la menor tendencia a la contracción e hinchamiento; por lo que las tablas de corte radial son mucho mejores que las de corte tangencial, especialmente cuando la madera es usada al exterior donde la humedad relativa y la lluvia periódica pueden producir rangos de hinchamiento y contracción que afecten la estabilidad del acabado. Asimismo, debido a que el hinchamiento de la madera es directamente proporcional a la densidad básica, las especies con baja densidad básica son preferidas a las de alta densidad básica. Otros factores que afectan el acabado son los nudos, los extractivos (FPL, 1999), las características y propiedades de la madera juvenil (peso específico bajo, fibras cortas, menor contracción transversal, mayor contracción longitudinal, resistencia mecánica baja, menor porcentaje de madera tardía, mayor madera de compresión, alto contenido de humedad, paredes celulares delgadas, diámetro de lumen grande, mayor contenido de celulosa y menor cantidad de lignina) (Echenique y Robles, 1993).

La madera usada en exteriores se ve afectada considerablemente por el proceso de intemperismo (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996), termino usado para describir la degradación de los materiales expuestos al exterior. Esta degradación ocurre en la superficie de todos los materiales orgánicos, incluyendo la madera y los acabados usados en la misma. El proceso ocurre por la foto-oxidación de la superficie catalizada por la radiación ultravioleta del sol y es aumentado por otros procesos como la lixiviación por la lluvia, cambios en la temperatura, cambios en el contenido de humedad y abrasión por partículas arrastradas por el viento. El proceso de intemperismo puede tomar muchas formas dependiendo del material expuesto; en general, el proceso comienza con un cambio de color, seguido por una lenta erosión (pérdida de material) de la superficie. Al inicio se desarrollan escasas grietas superficiales y en algunos materiales se pueden desarrollar grietas profundas (FPL, 1999).

Cuando un objeto de madera utilizado en el exterior tiene algún tipo de acabado de los que forman película (como son barnices y pinturas) se producen fallas de cohesión entre la madera y la película, por el efecto del intemperismo, terminando con un blanqueo y desprendimiento de ésta por la acción de lixiviación que ejerce la lluvia (Cassens y Feist, 1991; Williams *et al.*, 1996).

A partir de estudios de intemperismo artificial se ha obtenido considerable información sobre el índice de degradación de la madera (Williams *et al.* 2001). El desarrollo de pruebas de intemperismo acelerado que pueden efectuarse en varios aparatos, que son establecidos en bases empíricas y que reproducen más o menos las condiciones climáticas a las que un sistema de acabado para madera es expuesto

(Podgorski *et al.*, 1996) ha llevado también a desarrollar métodos de evaluación que permiten determinar la vida útil de los acabados en un periodo de tiempo corto. En México son escasos los estudios sobre pruebas aceleradas de intemperismo artificial para la determinación de la durabilidad de los acabados para madera utilizada en exteriores por lo que dichos estudios son de gran importancia en ésta área de investigación.

Las plantaciones forestales comerciales serán las que cubran las demandas de la madera que será empleada en exteriores, por lo que también se debe considerar el soporte para el acabado a utilizar, ya que dependiendo de la especie y de las características de crecimiento de la madera será su comportamiento ante los acabados. Así como la investigación en acabados, las realizadas sobre madera proveniente de plantaciones forestales (madera juvenil) en México también son escasas por lo que toda contribución referente a este tipo de madera es de gran relevancia.

En este estudio el soporte madera, para la determinación de la vida útil de dos barnices poliuretanos, fue proveniente de plantaciones comerciales; a las especies de dichas plantaciones se les pretende utilizar dándoles un mayor valor agregado. Las aportaciones de este estudio serán de beneficio para los propietarios de dichas plantaciones, para los fabricantes que proporcionaron los dos barnices empleados en la investigación, para los fabricantes de casas y muebles, para las carpinterías y para los tecnólogos de la madera, así como también servirán como base de estudios posteriores.

OBJETIVOS

General:

Determinar la resistencia al intemperismo acelerado del barniz hydroform[®] y del barniz 11000[®] utilizando como soporte la madera de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) provenientes de plantaciones forestales comerciales de 7 años.

Específicos:

Conocer las características anatómicas y las propiedades físicas de la madera juvenil de *Cedrela odorata* L. y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, de interés para el presente estudio.

Relacionar las propiedades físicas y las características anatómicas, de interés, con la resistencia a la degradación de los barnices aplicados.

Analizar como influye el soporte madera de las especies utilizadas en el tiempo de degradación del barniz.

2. ANTECEDENTES

2.1 Efectos del intemperismo en la madera.

Según Gellerstedt y Petterson (1977) todos los componentes de la madera incluyendo la celulosa, hemicelulosas, lignina y extractivos son susceptibles de degradación fotoquímica. Hon e Ifju (1978) indican que la luz ultravioleta penetra la superficie de la madera a una profundidad no mayor que 75 mm. Hon y Feist (1980a), Hon (1981) y Kalnins (1966) señalan que consecuentemente, la interacción de la madera y la luz UV es esencialmente una reacción de superficie, en la que radicales libres intermedios generados por la luz tienen un papel importante en el deterioro y decoloración de la superficie.

Hon y Feist (1980b) mencionan que la madera es susceptible al intemperismo y a la degradación foto-oxidativa debido a la luz del sol y la humedad, lo que le causa degradación oxidativa fotoquímica. La luz del sol aumenta la temperatura y así se incrementa el índice de reacción química con los gases presentes en la atmósfera, especialmente el oxígeno. Ésta conduce a una degradación fotoquímica de la superficie de la madera, provocando cambios de color como un resultado de los cambios químicos en los componentes de la madera. El cambio en el color de la madera con la luz del sol

se debe a la descomposición química (foto-oxidación) de la lignina y extractivos de la madera.

Según Feist *et al.* (1991) el agua en combinación con la radiación UV, juegan un papel principal en la intemperización y degradación de la superficie de la madera. La radiación ultravioleta causa degradación fotoquímica principalmente en el polímero lignina de la pared celular, ésta actúa como un adhesivo en la madera para mantener juntas las fibras de celulosa; cuando la lignina es degradada, el agua lixivia fuera los productos de la degradación arrastrando además las fibras de celulosa de la superficie, causando una superficie áspera usualmente referida como “madera intemperizada”. El agua también causa que la madera se hinche y cuando se seca se desarrollan grietas y rajaduras que exponen material nuevo a la degradación UV. Suleman y Rashid (1999) indican que las fluctuaciones de temperatura, causadas por el ciclo del día y la noche incluyendo la insolación, causan estrés físico (hinchamiento y contracción) lo que resulta en el agrietamiento de las superficies de la madera.

De acuerdo al FPL (1999) la madera consiste de cuatro tipos de materiales orgánicos: celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos; cada uno es afectado en forma distinta por el proceso de intemperismo. Los extractivos (dan el color distintivo a cada especie) cambian con la exposición a la luz del sol, teniendo como consecuencia que el color se torne claro u oscuro; en la madera de algunas especies este cambio de color puede darse en minutos de exposición. Éstos son acompañados por otros cambios que afectan la humedad y la química de la superficie. La fotodegradación provoca que las fibras se desprendan de la superficie (proceso llamado erosión); pero este proceso es tan

lento que en promedio solo aproximadamente 6 mm (1/4 de pulgada) de la madera se pierde en un siglo. Este índice de erosión es más lento para muchas maderas duras y más rápido para ciertas maderas suaves. Otros factores como el índice de crecimiento, grado de exposición, orientación del grano, temperatura, y los ciclos de humedad y sequedad son importantes en la determinación del índice de erosión.

FPL *op. cit.*, menciona además que el agua y las tensiones de hinchamiento y contracción establecidas por las fluctuaciones en el contenido de humedad aceleran la erosión. Los ciclos de humedad y sequedad ponen áspera la superficie, levantan el grano, causan hinchamiento diferencial de las bandas de madera temprana y madera tardía lo que resulta en muchas pequeñas, grietas y rajaduras paralelas. El tiempo requerido para que la madera llegue a estar totalmente intemperizada depende de la severidad de la exposición, pero las tablas tienden a deformarse (particularmente se presenta el alabeo); la tendencia al alabeo varía con la densidad básica, anchura y grosor de la tabla, por lo que para disminuir la deformación la anchura de una tabla no debería exceder ocho veces su grosor. También hay que considerar el tipo de corte, ya que la deformación es más pronunciada en las tablas de corte tangencial.

Para Williams y Feist (1999) el intemperismo se manifiesta primero por un cambio en el color de la madera, removiéndose los extractivos y la lignina quedando la celulosa; la madera oscura tiende a volverse muy clara, mientras que la madera clara tiende a volverse muy oscura; en algunos climas tropicales la madera tiende a deteriorarse a un gris plateado (este color es una combinación del crecimiento de mohos y enriquecimiento de celulosa en la superficie). La madera que ha sido pretratada con

sales CCA el color es verde claro o marrón (debido a la tinta adicionada), pero que no se trató con un preservador repelente al agua inicialmente, se volverá a un gris tenue y eventualmente llegará a ser gris plateada.

Así mismo, Williams y Feist *op. cit.*, indican que el cambio en el color es seguido por una pérdida de fibras de celulosa y una erosión gradual de la superficie. Los materiales degradados en la superficie son lixiviados por la lluvia, ésta y los cambios en la humedad causan cambios dimensionales en la madera acelerando el proceso de erosión; este es más rápido en la madera temprana que en la madera tardía lo que resulta en una superficie desigual. El índice de erosión depende de la exposición de la madera al sol y la lluvia y el cuidado que la madera recibe, el control de la absorción del agua por la madera retarda el intemperismo y la pudrición. El índice de erosión para maderas suaves sólidas en zonas templadas es de 6 a 12 mm por siglo y depende principalmente de la intensidad de la radiación UV y de las especies maderables. Para maderas duras el índice de erosión es de 3 a 6 mm por siglo.

2.2 Factores que afectan la durabilidad del acabado.

Para Banove (1973) la pintura y otros recubrimientos pueden proteger la madera contra el deterioro de la luz del sol por bloqueo de la degradativa luz UV que llega hasta la superficie. La duración de un acabado depende de las propiedades de la madera, incluyendo el contenido de humedad, la densidad, la textura, los contenidos de resina y aceite, el tipo de corte de tabla, los defectos naturales, la naturaleza y calidad del

acabado utilizado, la técnica de aplicación, los pretratamientos y las condiciones de intemperie.

Prestemon (1999) menciona que la durabilidad de un acabado para exterior es afectada por las características de la madera; las maderas duras obtenidas de árboles con hojas anchas generalmente requieren mayor cuidado en el acabado que las maderas suaves que proceden de árboles con hojas en forma de aguja. La vida satisfactoria de un acabado es comúnmente más difícil de lograr en maderas de densidad muy alta. Toda madera se contrae si pierde humedad y se hincha si la absorbe, pero algunas especies son más estables que otras; para las menos estables se presenta un mayor estrés en las películas de pintura. En las maderas que son sensibles a los cambios en el contenido de humedad es más probable que se presenten rajaduras y deformaciones (alabeo). Los acabados generalmente funcionan mejor en tablas de corte radial porque la madera tardía se distribuye más uniformemente en la superficie, además se contraen e hinchan menos que las de corte tangencial. La madera libre de nudos, bolsas de resina y de otros defectos proporciona el soporte adecuado para los acabados en exterior. Las superficies lisas son mejores para la mayoría de acabados de pintura, mientras que las superficies muy ásperas o sin cepillar pueden preferirse para las tintas o tratamientos repelentes de agua.

Williams *et al.* (2000) indican que la madera tardía es más densa, más dura, más lisa y más oscura que la madera temprana, además de tener paredes celulares muy gruesas y lúmenes muy pequeños; la proporción de madera temprana con relación a la madera tardía, las diferencias de densidad y el cambio desde la madera temprana a la

madera tardía durante la temporada de crecimiento puede variar, dependiendo de las especies y las condiciones de crecimiento. Muchas especies presentan un cambio gradual en la densidad durante este periodo, existen especies que tienen bandas angostas de madera tardía mientras que en otras especies estas bandas son anchas; por lo que en algunas especies las diferencias de densidad no son muy grandes, mientras que otras tienen grandes diferencias. Sin embargo, para todas las especies de clima templado el cambio en la densidad del final de una temporada de crecimiento y al comienzo de la siguiente es siempre repentino; si la diferencia es grande, las tensiones impuestas en un sistema de recubrimiento pueden ser bastante grandes cuando los cambios dimensionales ocurren en esta zona de transición. Los cambios dimensionales en la interface de madera temprana a madera tardía puede causar grietas en los acabados; la falla de la pintura en la madera tardía inicia con esas grietas, si las bandas de madera tardía son bastante angostas, como en los árboles de lento crecimiento, las tensiones disminuyen y hay menor tendencia de la pintura a agrietarse o despegarse que en las bandas anchas.

Williams *et al. op. cit.*, mencionan que está bien establecido que las bandas anchas de madera tardía en maderas suaves dan una superficie que es difícil para el acabado. Por otro lado, el índice de crecimiento no afecta significativamente la capacidad de las maderas duras para retener un acabado que forma película, éstas son generalmente más difíciles para un acabado que las maderas suaves. La durabilidad de la pintura en maderas duras como el roble está más en función de la densidad, el tamaño y la localización de los vasos que las distinciones entre madera temprana y madera tardía.

De acuerdo con Williams *et al. op. cit.*, la densidad de la madera es uno de los factores más importantes que afectan las características del acabado, varía de especie a especie, es importante debido a que las maderas de alta densidad se contraen e hinchan tendiendo a deformarse y agrietarse más que las maderas de baja densidad. Este cambio dimensional ocurre en la madera, particularmente en aplicaciones al exterior, que gana o pierde humedad debido a los cambios en la humedad relativa y a la humectación periódica causada por la lluvia o el rocío. El excesivo cambio dimensional en la madera tensiona los acabados que forman película y pueden causar agrietamiento, escamamiento o ambos. La cantidad de deformaciones (generalmente causadas por una contracción o hinchamiento desigual dentro de la tabla) y grietas que ocurren en la madera con los cambios dimensionales y durante el proceso de intemperismo natural están también directamente relacionadas a la densidad de la madera; además se pueden desarrollar rajaduras o pequeñas grietas a lo largo del grano, de las tensiones que se desarrollan durante el secado inicial o de las tensiones causadas por la alternancia de la contracción e hinchamiento durante el servicio.

Cassens y Feist (1991) y Williams *et al.* (1996) indican que la presencia de nudos y otros defectos, como inclusiones de corteza, grietas, bolsas de resina y daños provocados por insectos, afectan la pintabilidad de la madera. Cuando los nudos son cortados transversalmente absorben mayor cantidad de producto de acabado en el corte tangencial o radial, lo que afecta la apariencia de las capas de acabado; cuando son de tamaño grande frecuentemente se rajan y rompen dando lugar a una grieta o defecto y estos son puntos de inicio de la falla del acabado. Según Williams *et al.* (2000) la orientación del grano alrededor del nudo se distorsiona ocasionando que sea más difícil

de lograr un maquinado aceptable de la superficie de la madera. Desde el punto de vista del acabado, la calidad nudosa de las tablas utilizadas para forro da mejor resultado en los acabados naturales, los preservadores repelentes de agua y las tintas semitransparentes que para los sistemas de pintura. La adhesión de la pintura es pobre sobre nudos densos y el sangrado de la resina de los nudos puede decolorar más las pinturas a menos que sean sellados con laca o un producto similar antes de la primera mano.

Williams *et al. op. cit.*, señalan que el contenido de humedad en equilibrio de la madera no puede ser cambiado por la aplicación de acabados, éstos afectan solo el índice al cual ocurre la absorción, pueden disminuir la diaria absorción y desorción de la humedad estacional, pero no cambian el contenido de humedad en equilibrio. El agua también causa desprendimiento de la pintura, aún cuando otros factores estén involucrados y acelera la degradación de la pintura; si el contenido de humedad de la madera excede el 20% cuando es pintada, el riesgo de ampulamiento y desprendimiento se incrementa. El contenido de humedad de la madera puede ser controlado, pero muy frecuentemente este factor crítico es descuidado durante la construcción y los procesos de acabado; la madera se pinta mejor cuando su contenido de humedad promedio es aproximadamente el esperado a predominar durante su servicio de vida. El contenido de humedad y las dimensiones de la pieza fluctuarán dependiendo de los cambios cíclicos en la humedad relativa atmosférica, pero el cambio dimensional no será excesivo. Por lo tanto, los acabados que forman película (como las pinturas) no se tensionarán innecesariamente y su servicio será mejor; los acabados penetrantes como los preservadores repelentes de agua y las tintas semitransparentes pueden ser aplicados a

productos que tienen una superficie seca pero que todavía pueden contener un alto contenido interno de humedad. Desde que los acabados de penetración no bloquean el movimiento de la humedad, ellos permiten a la madera secarse pero no se ampulan o desprenden.

Williams *et al. op. cit.*, mencionan que la presencia de extractivos solubles en agua (como taninos y otros polifenoles) puede decolorar la superficie de las pinturas y acabados y posteriormente producir lo que se conoce como sangrado por extractivos. Aunque esos extractivos pueden causar problemas con la decoloración de los acabados si no se sella con una primera mano de tinta bloqueadora, la resistencia a la pudrición que algunos de ellos imparten a la madera es mayor que las desventajas causadas por la decoloración. La cantidad de extractivos dentro del duramen depende de la edad del árbol, el duramen de árboles muy jóvenes tendrán naturalmente un contenido de extractivos más bajo que los árboles maduros. Aunque la madera de árboles muy jóvenes es menos durable que la madera de árboles maduros, el sangrado de los extractivos a través de los acabados es menos problemático en el primer caso; para madera de color claro el sangrado de extractivos puede ser eliminado con una apropiada primera mano. Por otro lado los extractivos insolubles como la resina, también pueden interferir con la apariencia de una superficie pintada.

Así mismo, Williams *et al. op. cit.*, indican que la madera juvenil se caracteriza por su densidad muy baja, contracción longitudinal muy alta y menor resistencia; la mayoría de las deformaciones, torceduras y curvaturas en la madera conteniendo la médula o que se aserró cerca de la médula es causada por la presencia de la madera

juvenil. Una alta proporción del volumen en árboles provenientes de plantaciones o de bosques jóvenes consiste de este tipo de madera. Kretschmann (1998) indica que un árbol produce madera juvenil en sus primeros años de crecimiento, durante este periodo las características de la madera producida cambian marcadamente. Este periodo va de 5 a 20 años de edad hasta que empiezan a ser relativamente constantes, transformándose así en madera madura.

Kretschmann y Bendtsen (1992) mostraron que la tabla dimensionada a partir de madera juvenil puede tener del 50 al 70 % de la resistencia y rigidez que presenta la tabla obtenida de madera madura, dependiendo de la calidad y de la especie. En otro trabajo realizado por Kretschmann *et al.* (1993) con tablas de chapa laminada (TCL) demostraron el efecto de distintas cantidades de madera juvenil en la integridad estructural de un producto de TCL. La proporción de resistencia de madera juvenil y madera madura de la misma calidad fue de 0.8. Mencionan que pequeñas porciones de madera juvenil colocadas estratégicamente tienen poco efecto en las propiedades y que el mayor efecto de la madera juvenil en TCL es en el costo de elaboración.

Para Williams *et al.* (2000) la calidad y textura de la superficie juegan un papel importante en la durabilidad del acabado y las variables que influyen en las características de la superficie de la madera son numerosas, el aserrío, el lijado y superficies lisas influyen de manera diferente en los acabados. En general, las superficies de aserrío rugoso y las que están sin cepillar requieren más acabado que las superficies lisas, proveen un servicio más duradero debido a la mayor cantidad de acabado que es aplicado. Las superficies lijadas pueden mejorar el servicio y la

durabilidad del acabado, el lijado con lijas del número del 50 al 80 no solo limpia los contaminantes sino que también pone escasamente áspera la superficie y remueve el grano levantado. La abrasión de la superficie es particularmente importante en la madera tardía de los anillos de crecimiento donde la madera es más densa y más difícil de lograr la adhesión del acabado, el lijado ayuda a preparar esta porción de la madera. Las superficies lijadas presentan características similares a las superficies de textura áspera pero en un grado mucho menor y presentan mayor superficie de área expuesta para la adhesión del acabado.

Williams *et al. op. cit.*, mencionan además la importancia del secado apropiado en la producción de un producto de madera que será dimensionalmente estable y con un acabado durable. El adecuado secado en horno proporciona la mejor situación para la madera debido a que se crea una pieza balanceada de la tabla que tiene un contenido de humedad uniforme a través de la misma. Las tablas secadas en horno tienen menor tendencia a contraerse o deformarse, pero la característica más importante desde el punto de vista del acabado es que éstas desarrollan menos agrietamiento en la superficie.

2.3 Acabados.

Williams y Feist (1999) indican que si a las estructuras de madera expuestas al exterior, inicialmente se les da el acabado apropiado y se les da mantenimiento, pueden ser funcional y estructuralmente resistentes, así como también ser estéticamente agradables por décadas. Los preservadores repelentes al agua pueden ser usados como

acabados naturales y pueden mejorar mucho la durabilidad y el aspecto, pueden usarse como pretratamientos previos al pintado, mejoran la estabilidad dimensional y la resistencia de la pintura a los mohos.

Williams *et al.* (1999) evaluaron varios acabados en madera severamente intemperizada; los acabados alquídico, modificado látex-aceite y base látex fueron aplicados en tablas de duramen de corte radial de *Thuja plicata* o *Sequoia sempervirens* que no tenían algún tratamiento para mejorar la superficie intemperizada antes de ser pintada. Los evaluaron anualmente durante 11 años para el agrietamiento, desprendimiento en forma de escamas, erosión, crecimiento de mohos, decoloración y apariencia general. Los de látex con bajo contenido de sólidos que incluían aproximadamente 10% de aceite de linaza crudo y 11% de resina acrílica (por ejemplo: acabados modificados látex-aceite) funcionan mejor en madera muy intemperizada que los acabados base látex y los alquídicos, aún después de 11 años. Los acabados de látex que incluían aceite de linaza crudo probablemente estabilizaron la superficie intemperizada y plastificaron el acabado. La estabilización de la superficie de madera y la flexibilidad del acabado durante todo su servicio de vida son factores importantes en la durabilidad del acabado en esos substratos intemperizados.

FPL (2000) señala que la madera expuesta al exterior puede durar por siglos, el tipo de madera que se elige y cómo se protege es lo que hace la gran diferencia en cuanto a su durabilidad. El intemperismo y la pudrición son los dos factores que influyen en el servicio de vida de la madera en exterior, el primer paso para evitar el intemperismo es bloquear la luz del sol; las pinturas pueden bloquear completamente la

luz del sol pero pueden atrapar la humedad y fomentar el deterioro, las tintas semitransparentes son las mejores para este propósito seguidas por los preservadores repelentes al agua, especialmente esos que contienen inhibidores de luz ultravioleta.

2.4 Tratamientos para estabilizar la madera.

Rowell *et al.* (1981) y Feist y Rowell (1982) mostraron que el llenado del lumen de la madera con metil metacrilato (MMA) polimerizado *in situ* incrementa la resistencia a la radiación UV en el intemperismo acelerado del pino del sur. Para Chang *et al.* (1982), Feist (1987) y Feist y Williams (1991) las funciones principales de los acabados para madera son proteger la superficie de madera contra el deterioro fotoquímico y mantener la apariencia. Sin embargo, afirman que las superficies de madera pueden estabilizarse contra el deterioro usando una variedad de tratamientos químicos. Rowell *et al.* (1986) mencionan que la acetilación de la madera reduce el hinchamiento causado por la sorción de humedad, tanto para la madera sólida como para los compuestos de la misma.

Feist *et al.* (1991) mencionan que debido a que la reacción de acetilación tiene lugar con los grupos hidroxilos del polímero componente de la pared celular, la reacción puede ayudar a estabilizar la lignina contra la degradación UV. Estudiaron la modificación de la pared celular con anhídrido acético, el llenado del lumen con metil metacrilato y una combinación de esos dos tratamientos, para su eficacia en la reducción del índice de sorción y los efectos degradativos del intemperismo acelerado. Comparado

con la madera no tratada, el valor de sorción de la humedad del álamo acetilado a 18% de ganancia de peso se redujo mucho, así como el grado de hinchamiento en agua líquida; la erosión debida al intemperismo acelerado se redujo 50%.

Feist *et al. op. cit.*, encontraron que el tratamiento de metil metacrilato disminuyó escasamente el valor de hinchamiento en agua líquida pero no redujo el grado de hinchamiento. Este tratamiento de llenado del lumen disminuyó la erosión causada por el intemperismo acelerado aproximadamente 40%, comparada con la erosión de la madera no tratada. Un tratamiento combinado de acetilación seguido por una impregnación de metacrilato fue el más efectivo en la reducción del valor y grado de hinchamiento y en la reducción de la erosión causada por el intemperismo acelerado (85%). El análisis químico antes y después del intemperismo acelerado mostró que la degradación ultravioleta causó una gran pérdida de lignina y xilosa de la superficie en muestras control. Ambos tratamientos de acetilación y metracrilato, o una combinación de los dos, redujo la pérdida de lignina de la superficie con la subsecuente reducción en el intemperismo. La acetilación, especialmente a 18% de ganancia en peso, redujo la pérdida de xilanos durante el intemperismo acelerado.

Así mismo, Feist *et al. op. cit.*, analizaron el intemperismo y la durabilidad del acabado en tableros de fibra acetilados de álamo. Los tableros de fibra con y sin acabado que se prepararon de fibras de álamo no tratadas y acetiladas (15% de ganancia en peso) se expusieron a intemperismo natural y acelerado. Los tableros acetilados se hincharon menos que los tableros no tratados después del intemperismo, los acetilados fueron más lisos que los no tratados después de cada tratamiento y la acetilación ayudó a mantener

la superficie lisa de los tableros con y sin acabado después del intemperismo. Los mohos crecieron menos después del intemperismo natural comparados con los tableros no tratados, demostrando la mayor resistencia biológica de las tablas tratadas. La penetración de una tinta semitransparente base aceite no es igual en tableros acetilados como en los no tratados debido a que el acabado no puede penetrar la superficie tratada. Por lo tanto, los acabados de penetración no pueden ser aplicados a tablas acetiladas. Los acabados que forman película (pinturas y tintas de color sólido) funcionan igualmente bien en tablas acetiladas y no tratadas después de 2 años de exposición al exterior.

Suleman y Rashid (1999) probaron el tratamiento químico para mejorar el acabado de la madera, utilizaron tablas de álamo negro (*Populus nigra* L.) que fueron tratadas con distintos químicos incluyendo hidróxido de sodio, cloruro de aluminio y cloruro de amonio en solución acuosa; el acabado fue con un barniz de grado comercial; se expusieron al exterior por un año para estudiar la estabilidad del acabado después del tratamiento. La apariencia de las tablas antes y después de un año de exposición se encontró relacionada al tipo de químico usado. En el caso de la solución de hidróxido de sodio (NaOH), el incremento de la temperatura del tratamiento de 21°C a 70°C mejoró la penetración del mismo y subsecuentemente la distribución del material del barniz en la madera. La absorción, la profundidad de penetración y el acabado de la madera, fueron marcadamente mejores con las soluciones acuosas de NaOH comparadas con el cloruro de aluminio (AlCl_3), el cloruro de amonio (NH_4Cl) y el agua. Concluyen que los resultados de su experimento mostraron una mejora en la protección del acabado de la madera contra el deterioro y el pretratamiento de las tablas con los diferentes químicos

disminuyó considerablemente la decoloración fotoquímica del acabado de las mismas después de estar expuestas a la luz del sol por un año.

2.5 Evaluación del intemperismo.

De acuerdo con Arnold *et al.* (1991) los métodos de intemperismo artificial son herramientas útiles para el estudio de la durabilidad de productos de madera acabada y no acabada que serán usadas en el exterior. Tales pruebas de intemperismo pueden acelerar los efectos de intemperismo natural de 5 a 20 veces dependiendo de las condiciones de exposición elegidas; además son herramientas valiosas debido a que sus condiciones se pueden controlar y reproducir. Debido a que todos los modelos de degradación por intemperismo natural no pueden ser simulados conjuntamente, las pruebas aceleradas generalmente se enfocan a los efectos de la luz ultravioleta y la humedad.

Para el intemperismo acelerado, Feist *et al.* (1991) expusieron las caras radiales de todas las muestras a una fuente de luz de arco de xenón de 6500 w (lo que es muy aproximado a la luz natural del sol) en una cámara cerrada con un rango de temperatura entre 45 a 50°C y una humedad relativa del 50%. Cada ciclo de 24 horas de intemperismo consistió de 24 horas de luz con 4 horas de spray de agua destilada, el tiempo de exposición fue expresado como horas de exposición a la luz. La pérdida de peso y la erosión se determinaron después de 700 h de exposición a la luz; la pérdida de peso se determinó por la diferencia en peso seco en horno antes y después de cada

periodo (cinco réplicas), la profundidad del intemperismo se estimó por micrografías electrónicas de barrido.

Así mismo Arnold *et al.* (1991) compararon el intemperismo artificial de cinco especies maderables en cámaras de intemperismo acelerado, una de luz ultravioleta fluorescente modificada y otra de arco de xenón; ambas cámaras fueron equipadas con rocío de agua como parte del ciclo del intemperismo acelerado. Midieron y compararon la superficie erosionada de la madera en muestras no acabadas de cuatro maderas suaves y una madera dura después de ser expuestas 2400 horas al intemperismo acelerado; efectos muy similares se observaron en las dos cámaras. Estos autores confirmaron la importancia de un sistema de rocío de agua que simule la lluvia y la lixiviación en la superficie de la madera en el proceso de intemperismo acelerado, mencionan que ese sistema es indispensable para obtener la característica degradación del intemperismo en la madera y una significativa erosión de la superficie de la madera como se ve con el intemperismo natural.

Arnold *et al. op. cit.*, también describen la cámara de luz UV fluorescente, ésta cámara de intemperismo acelerado es un trapecioide elongado; sólo la parte más dañina de la luz del sol (final bajo del espectro de UV) es reproducido por ocho lámparas fluorescentes de luz ultravioleta, la humedad en la superficie de prueba es simulada por un sistema de condensación y la temperatura es controlada por un calentador de aire, no hay elementos rotatorios en la cámara, las muestras son uniformemente expuestas cambiando su posición en la cámara periódicamente. Debido al insuficiente movimiento de humedad sobre la superficie de la muestra en la cámara, el material degradado de la

madera no es removido de la superficie; la acción de lixiviación del agua es esencial para la remoción de productos de la degradación de la madera solubilizados de la superficie de la madera y para el blanqueo de la misma, el lavado con el agua también remueve las fibras de madera desprendidas y las partículas producidas durante el proceso de intemperismo y así provoca la erosión de la superficie exponiendo una nueva capa de madera no degradada.

Sudiyanni *et al.* (1996) evaluaron los efectos del intemperismo en la madera de albizzia químicamente modificada por distintos métodos (anhídrido acético, óxido de propileno, paraformaldehído, dimetrol dihidroxi etilen urea y resinas de fenolformaldehído) y describen la apariencia de la superficie de las muestras (45 X 3 X 145 mm) utilizadas. Aplican un acabado de resina de poliuretano tipo laca que diluyeron con tolueno a la mitad de las muestras modificadas y no tratadas. La mitad de todas las muestras se expusieron a intemperismo natural por un año, a la otra mitad se le aplicó intemperismo artificial por 1080 horas, fue una combinación de irradiación UV y rocío de agua (spray) (12 minutos en cada hora); utilizaron una cámara comercial de intemperismo a 50°C y 50% de humedad relativa cuya fuente de luz UV fue un arco de carbono de 3 Kwh. La evaluación de los efectos del deterioro lo hicieron por la apariencia de la superficie y resistencia a la pudrición después de la exposición.

Podgorski *et al.* (1996) analizaron el intemperismo natural y artificial de un recubrimiento para madera mediante la temperatura de transición vítrea (Tv) del polímero constituyente del acabado. El parámetro Tv cuantificable es medido como una función del tiempo. Determinaron en muestras de madera (300 x 150 x 15 mm) de

encino, lauan y moabi (especies utilizadas al exterior en Francia) con un acabado a tres manos de tinta alquídica base solvente con una retención de 130 g/m² peso seco y un grosor de película de 150 µm, que alrededor de 800 horas de intemperismo natural, con las muestras colocadas en el Centro Técnico de la Madera y del Mueble (CTBA) a 1 m del suelo y con una inclinación de 45°, orientadas hacia el suroeste, corresponden a 75 horas de intemperismo artificial en el aparato de intemperismo acelerado del CTBA (rueda de degradación), donde un ciclo de 1 hora 30 minutos comprende: 12 minutos de inmersión en agua destilada, 27 minutos en condiciones ambientales (25°C), 24 minutos bajo la acción de 6 lámparas de luz ultravioleta y 27 minutos en condiciones ambientales (25°C); siendo así que la rueda de intemperismo usada permite la aceleración de aproximadamente 10 veces el fenómeno observado durante el intemperismo natural.

Flores (1999) realizó la prueba de intemperismo acelerado utilizando un equipo similar al del Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia (CTBA), así como también siguió los tiempos establecidos para un ciclo de exposición. Aplica dos barnices poliuretanos de la marca comercial Polyform[®] para exteriores, uno base agua y otro base solvente, a madera de encino y pino. Al barniz hydroform[®] se le determinó los siguientes tiempos de vida útil: encino = 76.21 días y pino = 15.76 días; mientras que para el barniz 11000[®] los tiempos reportados fueron: encino = 381.15 días y pino = 544.26 días. Tanto en la madera de encino como en la de pino el barniz hydroform[®] se degradó más rápido que el barniz 11000[®].

Tamarit (2002) determinó la vida útil del acabado de dos barnices poliuretanos para exteriores de la marca comercial Polyform[®] (11000[®] y 7000[®]) en madera de aile, pino y encino mediante intemperismo acelerado utilizando un equipo fabricado de acuerdo a las características especificadas por el 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 estimó la vida útil del acabado; en el caso del barniz 11000[®] fue de 5, 5.2 y 5 años para aile, pino y encino respectivamente, mientras que para el barniz 7000[®] fue de 3.7, 3.4 y 4.9 años.

2.6 Descripción de las especies.

La información existente sobre *Cedrela odorata* L. y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, fue obtenida a partir de estudios realizados con árboles provenientes de bosques naturales.

2.6.1 *Cedrela odorata* L.

Sinonimia: *Cedrela mexicana* M. J. Roem.

Nombre común y forma: Cedro rojo, chujté, icte, tiocuáhuatl, perteneciente a la familia de las meliáceas. Árbol hasta de 35 m y d. a. p. hasta 1.7 m., con el tronco derecho formando a veces pequeños contrafuertes poco prominentes, ramas ascendentes y gruesas, copa redondeada y densa (Pennington y Sarukhán, 1968).

Madera: Ligera y blanda a moderadamente pesada y dura, densidad básica de 0.37 a 0.75 (secada al aire), textura media a gruesa (Kribs, 1968). Presenta diferencia de

color entre albura y duramen, albura blanco rosáceo y duramen castaño rojizo con jaspeaduras un poco más oscuras que el resto de la madera que corresponden a los vasos, olor característico, sabor amargo y picante, brillo mediano, veteado pronunciado, hilo recto y entrecruzado, anillos de crecimiento marcados. Los poros son visibles a simple vista, poco numerosos, de distribución circular, solitarios, múltiples radiales y tangenciales de 2 a 6, de diámetro tangencial mediano. Los elementos de vaso son cortos, sus paredes presentan puntuaciones areoladas alternas y placa perforada simple, algunos taponados con gomas color castaño rojizo. El parénquima axial es visible con lupa, vasicéntrico, difuso y marginal de 6 células de anchura, presenta gomas de color rojizo. Los rayos son visibles a simple vista, uniseriados y poliseriados, de tipo homogéneo y heterogéneo, poco numerosos; los poliseriados son bajos de 2 a 4 series, la mayoría de 3; los uniseriados, de 2 a 8 células. La mayoría de las fibras son de tipo libriforme y algunas fibrotraqueidas, de longitud mediana, diámetro fino y pared delgada, con gomas en su lumen (De La Paz Pérez *et al.*, 1980).

Distribución. El cedro es ampliamente distribuido en Latinoamérica, pero en áreas discontinuas; se encuentra aproximadamente desde los 24° N hasta los 10° S, abarcando México, Centroamérica, las Antillas, el norte de Sudamérica, hasta alcanzar Perú y Brasil; medra en altitudes de 0 hasta 1200m (Lamprecht, 1990).

En México, se encuentra en la vertiente del golfo, desde el Sur de Tamaulipas y Sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán. También se encuentra en la vertiente del Pacífico. Se desarrolla igualmente en suelos de origen volcánicos o calizos; alcanza sus máximos tamaños e incrementos en zonas con precipitaciones entre 2500 a 4000 mm anuales (Pennington y Sarukhán, 1968).

Usos. Manufactura de muebles, gabinetes, molduras, patrones, instrumentos musicales, chapa, contrachapados, cajas y envolturas de puros, aparatos de precisión, cubiertas y forros de embarcaciones, carpintería fina de interiores de viviendas y lambrines, recubrimiento de botes, construcción en general, exteriores, interiores, partes de molinos, moldes y pontones, revestimientos para baúles y cofres, escaparates, (De La Paz Pérez *et al.*, 1980).

2.6.2 *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda.

Sinonimia: *Cybistax donnell-smithii* (Rose), *Tabebuia donnell-smithii* (Rose).

Nombre común y forma: Primavera, perteneciente a la familia de las bignoniáceas. Árbol hasta de 30 m y d. a. p. hasta 70 cm con el tronco ligeramente acanalado; ramas ascendentes, copa alargada (Pennington y Sarukhán, 1968).

Madera: Color de blanco amarillento a castaño amarillento pálido frecuentemente con rayas muy oscuras; brillo alto, olor y sabor no distinguibles, ligera y blanda pero firme; densidad básica de 0.45 a 0.55, textura media. Anillos de crecimiento distinguibles como líneas espaciadas uniformemente de parénquima marginal y una diferencia en la densidad de las fibras. Los poros se distinguen a simple vista, de distribución uniforme a ligeramente escalonada, solitarios y múltiples radiales de 2 a 4 o en pequeños grupos, diámetro tangencial de 70 μ a 228 μ , abundantes tílides; los elementos de vaso con placa de perforación simple, puntuaciones alternas. Fibras de tipo libriforme. Parénquima distinguible con lupa, marginal, vasicéntrico angosto de 1 a 3 células o ligeramente aliforme, raramente confluyente. Los rayos son visibles a simple

vista, homogéneos de 1 a 8 células, la mayoría de 4 a 6 o de 3 a 4 células de ancho, de 30 células de altura, las puntuaciones de vaso-rayo son de ovals a elongadas, de simples a medio rebordeadas (Kribs, 1968).

Distribución: Se encuentra en la vertiente del Pacífico desde Nayarit hasta Chiapas, formando parte de selvas medianas subcaducifolias en suelos de origen volcánico y metamórfico (Pennington y Sarukhán, 1968).

Usos: Manufactura de muebles, gabinetes, molduras, entablados de embarcaciones, chapa, contrachapados, exteriores (Kribs, 1968).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Colecta del material.

Para la realización del presente estudio se colectaron (Figura 1) cuatro árboles de *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) y cuatro árboles de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) provenientes de plantaciones forestales comerciales de 7 años de edad del Predio del Cerro del Águila, Comunidad de Zapopan del Municipio de Catemaco, Veracruz; a los cuales se les tomaron los datos dasométricos (Cuadro 1).

Todos los árboles fueron seccionados desde la base del fuste a cada 1.80 m para obtener posteriormente las rodajas (Figura 2) y las trozas necesarias para la determinación de las propiedades físicas, algunos aspectos anatómicos y pruebas de intemperismo acelerado de dos barnices para exteriores, hydroform® y 11000®. El material fue trasladado hasta la División de Ciencias Forestales de la UACH.

Cuadro 1. Datos dasométricos de *Cedrela odorata* L. y *Roseodendron donnell-smithii*. (Rose) Miranda.

Árbol	Cedro rojo		Primavera	
	Altura total (m)	Diámetro (cm)	Altura total (m)	Diámetro (cm)
1	9.5	15.5	13.70	22.5
2	9.10	19.5	17.50	25
3	10.50	20	11.30	19.5
4	10.30	18	10.80	18



Figura 1. Colecta de material (plantaciones forestales comerciales de 7 años).



Figura 2. Rodajas de *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (izquierda) y *Cedrela odorata* L. (derecha).

3.2 Características del lugar de colecta.

El predio está localizado en la región fisiográfica denominada Costa Sur del Golfo, en la cuenca del Río Papaloapan. Se ubica en el ejido Zapoapan de Cabañas del municipio de Catemaco en el Estado de Veracruz. Se encuentra sobre la carretera federal No. 180, tramo Catemaco-Acayucan Km 15 y a 28 Km de la cabecera municipal de San andrés Tuxtla, Veracruz. Se encuentra situado entre los 18°15' y 18°22' de latitud Norte y 95°01' y 95°07' de longitud oeste (INEGI, 1985).

Los terrenos de la zona Zapoapan son atravesados por arroyos y ríos de los cuales algunos confluyen a la Laguna de Catemaco (SARH, 1987). El clima es el correspondiente al AM-CALIDO-HUMEDO con lluvias 9 meses del año y una estación

seca (marzo-abril-mayo); las precipitaciones van de 2100 a 2300 mm y temperaturas promedio de 22.5°; los vientos dominantes son de débiles a moderados provenientes del norte (SARH, 1982).

3.3 Aspectos anatómicos.

Se realizó la descripción anatómica macroscópica de *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) y de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo). Para especificar el color de la madera de estas especies se utilizaron las tablas de Munsell (1988). Se determinó la proporción de elementos constitutivos de ambas especies utilizando la metodología propuesta por Machuca (1995); las probetas utilizadas para obtener los cortes transversales se saturaron a presión (4 Kg/cm² durante 10 minutos) con agua.

3.4 Determinación de propiedades físicas.

De rodajas de 5 cm de longitud se obtuvieron probetas desde la médula hasta la corteza para determinar el contenido de humedad verde (Figura 2). De las trozas se cortaron 2 rodajas de 5 cm de longitud de las cuales se obtuvieron probetas para densidad (2.5 x 4 x 8 cm) y para contracción tangencial y radial (2.5 x 4 x 8 cm); y una rodaja de 10 cm de longitud para contracción longitudinal y volumétrica (5 x 5 x 10 cm).

La determinación de las diferentes densidades, las contracciones, la relación de anisotropía y el punto de saturación de la fibra se realizó según Fuentes (S/F). Las fórmulas utilizadas se presentan a continuación.

Contenido de humedad verde (CHv):

$$\%CHv = \frac{P_i - P_o}{P_o} (100) \quad (1)$$

P_i = Peso verde; P_o = Peso anhidro

Densidad.

$$\text{Densidad anhidra (Do):} \quad D_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (2)$$

P_o = Peso anhidro; V_o = Volumen anhidro

$$\text{Densidad verde (Dv):} \quad D_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (3)$$

P_v = Peso verde; V_v = Volumen verde

$$\text{Densidad al contenido de humedad en equilibrio (Dh):} \quad D_h = \frac{P_h}{V_h} \quad (4)$$

P_h = Peso al contenido de humedad en equilibrio

V_h = Volumen al contenido de humedad en equilibrio

$$\text{Densidad básica (Db):} \quad D_b = \frac{P_o}{V_v} \quad (5)$$

P_o = Peso anhidro; V_v = Volumen verde

Contracción.

Contracción tangencial al contenido de humedad en equilibrio (β_{Th}):

$$\beta_{Th} = \frac{T_v - T_h}{T_v} (100) \quad (6)$$

T_v = Longitud tangencial en estado verde

T_h = Longitud tangencial al contenido de humedad en equilibrio

Contracción tangencial total (β_{Tt}): $\beta_{Tt} = \frac{T_v - T_o}{T_v} (100) \quad (7)$

T_v = Longitud tangencial en verde

T_o = Longitud tangencial en estado anhidro

Contracción radial al contenido de humedad en equilibrio (β_{Rh}):

$$\beta_{Rh} = \frac{R_v - R_h}{R_v} (100) \quad (8)$$

R_v = Longitud radial en verde

R_h = Longitud radial al contenido de humedad en equilibrio

Contracción radial total (β_{Rt}): $\beta_{Rt} = \frac{R_v - R_o}{R_v} (100) \quad (9)$

R_v = Longitud radial en verde

R_o = Longitud radial en estado anhidro

Contracción longitudinal al contenido de humedad en equilibrio (β_{Lh}):

$$\beta_{Lh} = \frac{L_v - L_h}{L_v} (100) \quad (10)$$

L_v = Longitud en estado verde

L_h = Longitud al contenido de humedad en equilibrio

Contracción longitudinal total (β_{Lt}):
$$\beta_{Lt} = \frac{L_v - L_o}{L_v} (100) \quad (11)$$

L_v = Longitud en estado verde

L_o = Longitud en estado anhidro

Contracción volumétrica al contenido de humedad en equilibrio (β_{Vh}):

$$\beta_{Vh} = \frac{V_v - V_h}{V_v} (100) \quad (12)$$

V_v = Volumen en estado verde

V_h = Volumen al contenido de humedad en equilibrio

Contracción volumétrica total (β_{Vt}):
$$\beta_{Vt} = \frac{V_v - V_o}{V_v} (100) \quad (13)$$

V_v = Volumen en estado verde

V_o = Volumen en estado anhidro

Relación de anisotropía (A):
$$A = \frac{\beta_{Tt}}{\beta_{Rt}} \quad (14)$$

β_{Tt} = Contracción tangencial total

β_{Rt} = Contracción radial total

Punto de saturación de la fibra (PSF):
$$PSF = \frac{\beta_{Vt}}{Db \times 0.9} \quad (15)$$

β_{Vt} = Contracción volumétrica total

Db = Densidad básica

Los resultados obtenidos en las pruebas de propiedades físicas realizadas se clasificaron de acuerdo con Salinas (2000) y se realizó una comparación de medias poblacionales con la prueba t de Student para observar cuales son las propiedades físicas que están influyendo en la diferencia o similitud entre las dos especies.

De acuerdo con Steel y Torrie (1986), la prueba t de Student se considera como criterio principal para la comparación de dos medias poblacionales. Este análisis estadístico compara las medias de dos categorías dentro de una variable dependiente o las medias de dos tratamientos diferentes. Ésta es una prueba estadística paramétrica que sirve para comparar variables numéricas de distribución normal.

Infante y Zárate (2000) mencionan que al comparar medias poblacionales usando dos muestras independientes $X_1, \dots, X_n$ y $Y_1, \dots, Y_m$, y suponiendo modelos Normales para las poblaciones, se procede como sigue:

1) Se plantea uno de los tres juegos de hipótesis:

a) $H_0: \delta = \delta_0$ en oposición a $H_a: \delta \neq \delta_0$

b) $H_0: \delta \leq \delta_0$ en oposición a $H_a: \delta > \delta_0$

c) $H_0: \delta \geq \delta_0$ en oposición a $H_a: \delta < \delta_0$

Donde $\delta = \mu_X - \mu_Y$ y δ_0 es un número arbitrario escogido por nosotros, y μ_X y μ_Y son las medias poblacionales.

2) Calculamos las estadísticas:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (16)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i; S_Y^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (17)$$

- 3) Obtenemos el estimador ponderado de la varianza (que se supone) común a ambas poblaciones.

$$S_p^2 = \frac{(n-1)S_X^2 + (m-1)S_Y^2}{n+m-2} \quad (18)$$

- 4) Calculamos la estadística de prueba:

$$t_0 = \frac{X - Y - \delta_0}{S_p^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)} \quad (19)$$

- 5) Puesto que cuando $\delta = \delta_0$, $t_0 \sim t(m+n-2)$, las reglas de decisión para a), b) y c) son:

a) Rechazar H_0 si $t_0 \geq t_{\alpha/2 (n+m-2)}$ o $t_0 \leq -t_{\alpha/2 (n+m-2)}$.

b) Rechazar H_0 si $t_0 \geq t_{\alpha (n+m-2)}$.

c) Rechazar H_0 si $t_0 \leq -t_{\alpha (n+m-2)}$.

En los tres casos es claro que se rechaza H_0 con un nivel de significancia (máxima probabilidad de error tipo I) igual a α .

3.5 Prueba acelerada de intemperismo.

La parte experimental correspondiente a la determinación de la vida útil de los acabados, barniz 11000[®] y barniz hydroform[®], mediante la prueba acelerada de simulación de las condiciones de intemperismo se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito dependiente del Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicadas en San Martinito Tlahuapan, Puebla.

3.5.1 Descripción del equipo.

Para la prueba acelerada de simulación de las condiciones de intemperismo se utilizó un equipo (Figura 3) fabricado con las características establecidas por el Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia.

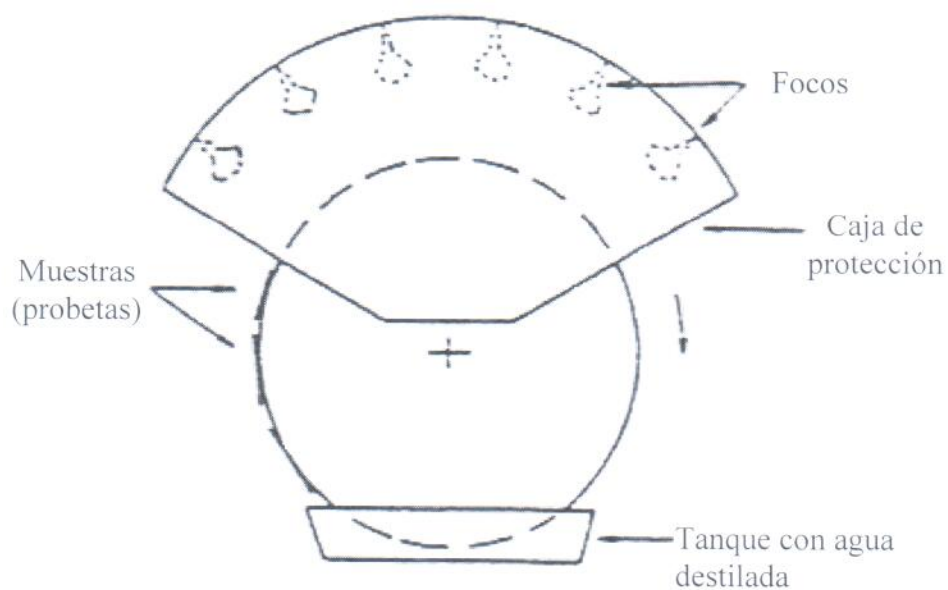


Figura 3. Rueda de degradación utilizada por el Centro Técnico de la Madera y del Mueble de Francia (adaptada de Podgorski *et al.*, 1996).

En la parte inferior del equipo (Figura 4) se encuentra una tina trapezoidal de lámina galvanizada cuyas dimensiones son: 0.4 m de ancho, 1.5 m de longitud en la parte alta y 1.2 m en la parte baja; su capacidad es de 200 litros. Para la simulación de los efectos de la humedad de la lluvia o rocío en la madera que es utilizada en exteriores (expansión, lixiviación de extractivos y materiales producidos por degradación fotoquímica), se agregó agua destilada a la tina.

En la parte media del aparato (Figura 4) se encuentra una rueda cuyo diámetro es de 1.5 m y su velocidad de giro es de una vuelta cada 1.5 hr, la cual es accionada por un motor industrial marca General Electric de dos fases de $\frac{1}{4}$ de caballo de fuerza; para reducir la velocidad de giro (revoluciones por minuto = rpm) se le adaptó un motoreductor de $\frac{1}{4}$ de caballo de fuerza de 115 voltios, a una frecuencia de 50/60 hz (50 a 60 ciclos por segundo) y 4.8 ampers. También se le adaptó un ventilador para evitar el sobrecalentamiento del motor (se accionaba cada 3 horas de 10 a 15 minutos).

En la parte superior del equipo (Figura 4) se localizan 6 focos que emiten luz ultravioleta, de 300 watts, marca OSRAM, tipo ultra-vitalux, casquillo E 27, accionados con 220 voltios de energía; cada foco se compone de un quemador de cuarzo y de un filamento incandescente de wolframio, ambos están regulados de tal forma que junto con una ampolla especial con reflector interior proporcionan una radiación muy parecida en sus efectos a la luz del sol. Los focos, con una distancia de 45 cm entre ellos, están colocados en posición perpendicular con respecto a las probetas a una distancia de 32 cm. Todo el equipo, con excepción del ventilador, es accionado mediante un interruptor manual.

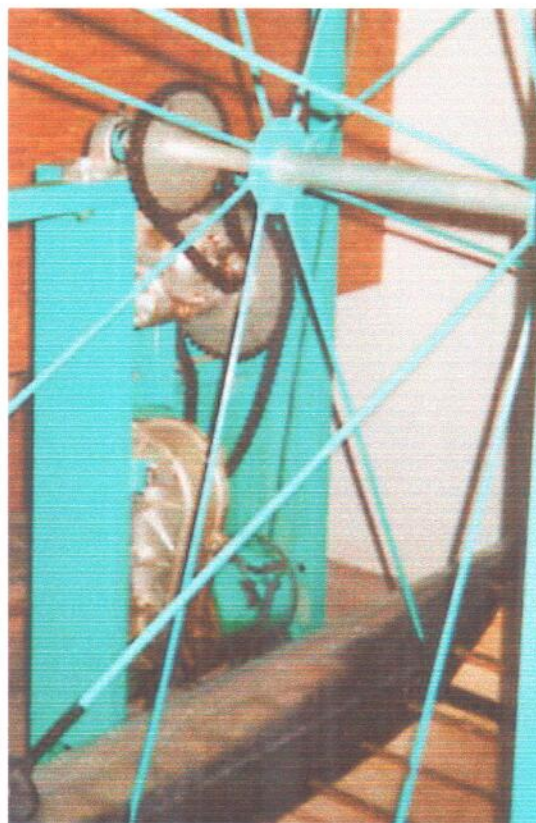


Figura 4. Equipo utilizado para el ensayo de intemperismo acelerado.

3.5.2 Preparación del material de ensayo.

De las trozas obtenidas cada 1.80 m se obtuvieron tablas, las cuales se colocaron en un secador solar en las instalaciones del Campo Experimental San Martinito; cuando estuvieron secas (a un contenido de humedad de 11%) se seccionaron para obtener probetas de 1x10x30 cm, en promedio, de las dos especies. Ambas caras de las probetas fueron preparadas utilizando una máquina lijadora de banda cuya lija fue del número 100. Los cantos y los cabezales se lijaron manualmente utilizando lijas de los números

80 y 100. Se seleccionaron 120 probetas por especie que no tuvieran defectos en la superficie o que éstos fueran mínimos.

Una vez que las superficies de las probetas estuvieron preparadas se aplicaron los barnices: hydroform[®] (base agua) (Figura 5) y 11000[®] (base solvente). Se aplicaron cuatro manos en las seis caras de cada una de las probetas y en los cabezales se aplicó una mano más.



Figura 5. Probetas acabadas con el barniz hydroform[®].

Los barnices utilizados como acabados fueron proporcionados por POLY-FORM[®] (S/F) de México, S. A. de C. V., así como también la información técnica de donde se tomaron las especificaciones físicas que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas de los acabados utilizados.

Características	Barniz hydroform[®]	Barniz intemperie Nº 11000[®]
Tipo de resina	Emulsión de poliuretano alifático base agua estable	Poliuretano alifático
Presentación del producto	1 componente	2 componentes (Reactor: Catalizador 250) (Relación de la mezcla: 3 partes de resinas x 1 de catalizador 250 en volumen)
Solvente	Agua desmineralizada	Thinner 250 o thinner 17000
Aspecto en el envase	Lechoso	Transparente
Acabado	Brillante 100%	Brillante, semi-mate y mate
Tiempo de secado al tacto	20 minutos	1 hora
Tiempo de gelado	2 horas	2 a 4 horas
Fraguado total	3 días	5 días
Contenido de sólidos	30% $\pm$ 1	69% $\pm$ 1
Viscosidad	60 – 100 centipoises (cps)	100 – 300 centipoises (cps)
Densidad	1.04 – 1.06 g/cm ³	0.98 – 1.0 g/cm ³
Ph	7 $\pm$ 0.5	7 $\pm$ 0.5
Dureza	40.8 en el Sward Rocker Hardness, usando una placa de vidrio estándar de 100	68 en el Sward Rocker Hardness, usando una placa de vidrio estándar de 100
Brillo	Su reflexión a la luz es de 88 comparada a 94 de placa patrón de vidrio	Su reflexión a la luz es de 100 comparada a 94 de placa patrón de vidrio
Rendimiento teórico	12 m ² x lt a 1 mil de pulgada	30 m ² a 1 mil de pulgada en superficie sellada

3.5.3 Método de ensayo.

Para el ensayo se colocaron 44 probetas en la rueda (Figura 6), 22 por especie (Cuadro 3); se intercalaron las probetas de la siguiente manera: una probeta de cedro y una de primavera acabadas con el barniz base agua, después una probeta de cedro y una de primavera acabadas con el barniz base solvente y así sucesivamente; se fijaron a la rueda con perfiles de aluminio (baguetas) y tornillos de acero inoxidable.



Figura 6. Probetas colocadas en el equipo de intemperismo acelerado.

Cuadro 3. Probetas utilizadas para el ensayo.

Barniz Hydroform [®]					
<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)			<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)		
Probeta	Árbol	Troza	Probeta	Árbol	Troza
1	2	2	1	1	2
2	3	1	2	1	2
3	3	1	3	1	1
4	3	1	4	1	1
5	3	2	5	1	1
6	3	3	6	2	1
7	4	1	7	2	1
8	4	1	8	2	1
9	4	2	9	3	2
10	4	2	10	3	2
11	4	3	11	4	2
Barniz 11000 [®]					
<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)			<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)		
Probeta	Árbol	Troza	Probeta	Árbol	Troza
1	1	1	1	1	1
2	3	1	2	1	2
3	3	2	3	1	3
4	3	2	4	2	1
5	3	2	5	2	1
6	3	3	6	2	1
7	4	1	7	2	1
8	4	1	8	2	3
9	4	2	9	2	3
10	4	2	10	3	1
11	4	3	11	4	1

Un ciclo del proceso de intemperismo acelerado aplicado a las probetas consta de lo siguiente:

- 12 minutos de inmersión en la tina con agua destilada a temperatura ambiente,
- 27 minutos a las condiciones ambientales del laboratorio donde se encuentra la rueda,

24 minutos de exposición a la luz ultravioleta emitida por los seis focos ubicados en la parte superior del equipo y,

27 minutos a las condiciones ambientales del laboratorio donde se encuentra la rueda.

Se realizaron evaluaciones cada 100 horas hasta que la falla por apariencia alcanzara el 10 % (en promedio) con respecto al total de la superficie de la probeta, debido a que el fabricante de los productos recomienda dar un mantenimiento o reacabado cuando se presente un 10 % de degradación del acabado. Se estableció como parámetro final del ensayo las 2500 horas, considerando el tiempo de vida de los focos utilizados y el tiempo requerido para las evaluaciones; así como también se consideró el tiempo de los ensayos de dos trabajos previos (Flores, 1999 y Tamarit, 2002). Las evaluaciones de cada probeta consistieron en determinar el porcentaje de la superficie del barniz degradado utilizando los programas Adobe Photoshop LE, Image Tool y Excel. La degradación, cada 100 horas, de la superficie de las probetas fue registrada en acetatos que posteriormente se escanearon, obteniendo dos imágenes por cada probeta; con el programa Adobe Photoshop LE se delimitaron las partes degradadas. Utilizando Image Tool se cuantificó la superficie degradada de las imágenes procesadas previamente y finalmente los resultados obtenidos se transfirieron a una hoja de cálculo del programa Excel para obtener el porcentaje de la superficie degradada de cada probeta y el porcentaje promedio de degradación.

Los focos se cambiaron 250 horas después de haber alcanzado la vida útil estimada por el fabricante que es de 1000 horas. El agua destilada que se utilizó se

cambió cada 300 horas y su pH se determinó con cintas de papel para medir pH y también con un potenciómetro. Adicionalmente se registraron los datos de la humedad relativa, tomadas cada tres horas a partir del inicio del ensayo hasta cumplir las 2500 horas determinadas, para conocer las condiciones ambientales del laboratorio.

Los datos se analizaron utilizando el modelo no lineal de la distribución acumulativa Weibull con dos parámetros (α y β), en el paquete SAS (SAS Institute Inc., 1999); los porcentajes se cambiaron a proporciones dividiendo cada dato entre 100. La razón de utilizar el modelo de Weibull es porque proporciona una excelente aproximación a la ley de probabilidades de muchas variables aleatorias y su principal área de aplicación ha sido en la estimación del tiempo de falla de componentes y sistemas (Hines y Montgomery, 1997).

La función de distribución acumulativa del modelo Weibull está definida por:

$$F_T(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right\} \quad (20)$$

Donde:

$F_T(t)$: Proporción de falla en el tiempo de exposición t

t : Tiempo de exposición en horas

α : Parámetro de escala

β : Parámetro de forma

Estimando los parámetros de escala y forma, esta función de densidad se aproxima al fenómeno observado en este trabajo. Con el modelo ajustado, se determinó el tiempo en horas en que se alcanzaría el 10% de degradación del acabado para los arnices que no lo alcanzaron en el tiempo establecido del experimento, la ecuación utilizada y que se deriva del modelo de Weibull es la siguiente:

$$t = \alpha \left\{ \text{Ln} \left(\frac{1}{1 - F_X(t)} \right) \right\}^{\frac{1}{\beta}} \quad (21)$$

Debido a que el fabricante recomienda dar mantenimiento al acabado cuando se observa una degradación de la superficie del 10%, el cual representa el límite de falla para el tiempo de exposición t , quedando la ecuación (21) de la siguiente manera:

$$t = \alpha \left[\text{Ln}(1.11) \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (22)$$

La vida útil de los productos de acabado se estimó en horas con su correspondiente equivalencia en años de acuerdo a lo reportado por Pordgorski et al. (1996), quienes indican que 1 hora de exposición bajo condiciones de intemperismo artificial en la rueda de degradación equivale a 10 horas bajo condiciones de intemperismo natural.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características anatómicas analizadas en este estudio

Las características anatómicas de la madera de las especies utilizadas en esta investigación, las cuales provienen de plantaciones comerciales de 7 años, se presentan a continuación.

Cedrela odorata L. (cedro rojo). Con olor y sabor característicos, veteado pronunciado, hilo entrecruzado, textura media a gruesa, brillo alto, porosidad circular, parénquima vasicéntrico en madera tardía y parénquima marginal inicial. El color es menos pronunciado en comparación con los de bosque natural (árbol maduro). La albura es de color café muy pálido (HUE 10YR 7/4) y el duramen es de color rojo tenue (HUE 7.5YR 7/4). Diámetro tangencial de poros desde 35 μ hasta 208 μ y el radial desde 42 μ hasta 212 μ .

Roseodendron donnell-smithii (Rose) Miranda (primavera). Con olor y sabor apenas perceptible, veteado pronunciado, hilo entrecruzado, textura media, brillo medio, porosidad difusa, parénquima vasicéntrico. El color de la albura es café amarillento claro (HUE 2.5Y 6/4) y el duramen es de color amarillo claro (HUE 2.5Y 8/4). Diámetro tangencial de poros desde 56 μ hasta 203 μ y el radial desde 51 μ hasta 199 μ .

Los resultados de la proporción de elementos constitutivos de las dos especies y la clasificación según Kollman (1959) se presentan en el Cuadro 4. Aunque la clasificación de ambas especies sea la misma, lo que se puede deber al rango tan amplio de la clasificación, si hay diferencias entre ellas; éstas se pueden remarcar con las propiedades físicas.

Cuadro 4. Proporción de elementos constitutivos y su clasificación.

Elemento	<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)		<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)	
	Proporción	Clasificación	Proporción	Clasificación
Rayos	4.7208	Media	5.2748	Media
Poros (vasos)	68.8514	Mayor	62.8892	Mayor
Parénquima	6.3343	Media	4.5953	Media
Fibras	20.0936	Media	27.2405	Media

4.2 Propiedades físicas

En el Cuadro 5 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas físicas. En general los valores del contenido de humedad en estado verde de la madera son más altos en cedro rojo que en primavera. De acuerdo con los valores y la clasificación de la densidad básica, la madera de los árboles de cedro rojo, en este estudio, es muy ligera en comparación con la madera de primavera. Las clasificaciones de los valores de las contracciones lineales y volumétricas son muy similares entre árboles para ambas especies.

Cuadro 5. Resultados obtenidos de las pruebas físicas.

Porcentaje de contenido de humedad verde (%CHv)					
Árbol	1	2	3	4	
Cedro rojo	169.43	142.50	123.16	85.39	
Primavera	93.82	90.65	85.27	89.45	
Densidades (g/cm ³)					
Árbol	Do	Dv	Dh	Valor de Db y su clasificación	
Cedro rojo					
1	0.253	1.033	0.274	0.228	Muy ligera
2	0.278	0.969	0.304	0.249	Muy ligera
3	0.298	0.996	0.322	0.268	Muy ligera
4	0.327	1.033	0.355	0.298	Muy ligera
Primavera					
1	0.367	1.000	0.397	0.341	Muy ligera
2	0.388	0.986	0.415	0.356	Ligera
3	0.399	1.026	0.428	0.368	Ligera
4	0.386	1.009	0.416	0.354	Ligera
Contracción tangencial (%)				Contracción radial (%)	
Árbol	βTh	Valor de βTt y su clasificación		βRh	Valor de βRt y su clasificación
Cedro rojo					
1	2.928	4.825	Baja	2.023	3.291 Mediana
2	3.851	5.580	Mediana	2.870	3.994 Mediana
3	3.039	4.946	Baja	2.098	3.346 Mediana
4	2.888	4.665	Baja	1.647	3.063 Baja
Primavera					
1	2.036	3.863	Baja	1.456	2.825 Baja
2	2.430	4.629	Baja	1.184	2.571 Baja
3	2.238	4.183	Baja	1.606	3.110 Mediana
4	2.345	4.461	Baja	1.422	2.902 Baja
Contracción longitudinal (%)				Contracción volumétrica (%)	
Árbol	βLh	βLt		βVh	Valor de βVt y su clasificación
Cedro rojo					
1	0.234	0.481		8.078	11.102 Mediana
2	0.218	0.461		10.089	13.386 Mediana
3	0.217	0.543		7.004	10.658 Mediana
4	0.189	0.400		5.497	9.202 Baja
Primavera					
1	0.142	0.355		3.964	7.665 Baja
2	0.087	0.307		7.222	11.196 Mediana
3	0.153	0.357		4.178	8.285 Baja
4	0.117	0.299		4.702	8.826 Baja
Valor de anisotropía (A) y su clasificación				Valor del punto de saturación de la fibra (PSF) y su clasificación	
Cedro rojo					
1	1.466	Muy estable		53.93	Alto
2	1.396	Muy estable		59.61	Alto
3	1.477	Muy estable		44.18	Alto
4	1.522	Estable		34.29	Normal
Primavera					
1	1.367	Muy estable		24.91	Bajo
2	1.800	Estable		34.88	Normal
3	1.344	Muy estable		25.00	Normal
4	1.536	Estable		27.70	Normal

Densidad anhidra = Do, densidad verde = Dv, densidad al contenido de humedad en equilibrio = Dh, densidad básica = Db. Contracción tangencial al contenido de humedad en equilibrio = βTh , contracción tangencial total = βTt ; contracción radial al contenido de humedad en equilibrio = βRh , contracción radial total = βRt . Contracción longitudinal al contenido de humedad en equilibrio = βLh , contracción longitudinal total = βLt , contracción volumétrica al contenido de humedad en equilibrio = βVh , contracción volumétrica total = βVt .

Existe una similitud entre los árboles de cedro rojo y entre los de primavera en cuanto a su estabilidad; en general la madera de ambas especies es muy estable. Se puede observar que el punto de saturación de la fibra es alto en el caso del cedro.

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de la aplicación de la prueba estadística *t* de Student a los valores observados; las medias poblacionales con la misma letra, en el agrupamiento, indica que no hay diferencia estadística significativa. En la comparación de medias poblacionales para el contenido de humedad en estado verde de la madera, ambas especies son similares; lo que implica que al momento de colectar los árboles, ambas especies tenían similar cantidad de agua en la madera. Con respecto a las densidades, la madera de cedro rojo y primavera al momento de obtener las trozas presentaba un peso muy similar (densidad en estado verde); mientras que la madera perdía humedad al estar en condiciones de secado, la madera de cedro rojo resultó ser más ligera que la de primavera. En cuanto a las contracciones lineales, el comportamiento dimensional ante la pérdida de humedad de la madera de las dos especies es completamente distinto, siendo la madera de primavera la que presenta menor cambio dimensional. La contracción en cuanto al volumen nos indica que la madera de éstas especies al presentar cambios en su dimensión por la salida de agua, éstos son similares.

En el Cuadro 7 se puede observar que para el cedro rojo la densidad básica y las contracciones lineales y volumétricas son menores en la madera de plantaciones a excepción de la relación de anisotropía y el punto de saturación de la fibra; para primavera sólo el punto de saturación de la fibra es más bajo en madera madura.

Cuadro 6. Comparación de medias poblacionales a partir de la prueba *t* de Student.

Especie	Número de grupos	Media	t_c (valor de t calculada)	Significancia (α)	Resultado*
Contenido de humedad verde (%CHv)					
Cedro rojo	4	130.12	2.27	0.0636	A
Primavera	4	89.80	2.27	0.1062	A
Densidades (g/cm³)					
Densidad en estado anhidro de la madera (do)					
Primavera	4	0.385	-5.64	0.0047	A
Cedro rojo	4	0.289	-5.64	0.0013	B
Densidad en estado verde de la madera (dv)					
Cedro rojo	4	1.008	0.14	0.8923	A
Primavera	4	1.005	0.14	0.8936	A
Densidad al contenido de humedad en equilibrio (dh)					
Primavera	4	0.414	-5.54	0.0059	A
Cedro rojo	4	0.314	-5.54	0.0015	B
Densidad básica (db)					
Primavera	4	0.355	-5.93	0.0047	A
Cedro rojo	4	0.261	-5.93	0.0010	B
Contracciones lineales					
Contracción tangencial al contenido de humedad en equilibrio (βTh)					
Cedro rojo	4	3.176	2.98	0.0246	A
Primavera	4	2.262	2.98	0.0253	B
Contracción tangencial total (βTt)					
Cedro rojo	4	5.004	3.20	0.0186	A
Primavera	4	4.284	3.20	0.0186	B
Contracción radial al contenido de humedad en equilibrio (βRh)					
Cedro rojo	4	2.159	3.56	0.0119	A
Primavera	4	1.417	3.56	0.0300	B
Contracción radial total (βRt)					
Cedro rojo	4	3.423	2.88	0.0279	A
Primavera	4	2.852	2.88	0.0456	B
Contracciones longitudinales y volumétricas					
Contracción longitudinal al contenido de humedad en equilibrio (βLh)					
Cedro rojo	4	0.214	5.16	0.0021	A
Primavera	4	0.125	5.16	0.0034	B
Contracción longitudinal total (βLt)					
Cedro rojo	4	0.471	4.26	0.0053	A
Primavera	4	0.329	4.26	0.0100	B
Contracción volumétrica al contenido de humedad en equilibrio (βVh)					
Cedro rojo	4	7.667	2.17	0.0734	A
Primavera	4	5.016	2.17	0.0761	A
Contracción volumétrica total (βRt)					
Cedro rojo	4	11.087	1.80	0.1213	A
Primavera	4	8.993	1.80	0.1219	A
Anisotropía (A)					
Primavera	4	1.512	-0.43	0.6939	A
Cedro rojo	4	1.465	-0.43	0.6828	A
Punto de saturación de la fibra (PSF)					
Cedro rojo	4	48.003	3.29	0.0166	A
Primavera	4	28.123	3.29	0.0299	B

*Letras iguales significa que no hay diferencia significativa y por lo tanto, son estadísticamente iguales.

Cuadro 7. Valores promedio de los datos obtenidos y valores de datos reportados.

Propiedades físicas	<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)		<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)	
	Datos obtenidos	Datos reportados	Datos obtenidos	Datos reportados
Db (g/cm ³)	0.26	0.36	0.35	0.40
%βVt	11.09	12.38	8.99	9.10
%βTt	5.00	4.30	4.28	5.10
%βRt	3.42	3.71	2.85	3.10
A	1.46	1.16	1.51	1.64
PSF	48.00	30	28.12	25.28*

*Dato calculado. Densidad básica = Db, contracción volumétrica total = βVt, contracción tangencial total = βTt, contracción radial total = βRt, anisotropía = A, punto de saturación de la fibra = PSF

4.3 Prueba acelerada de intemperismo

El pH, del agua destilada utilizada durante el ensayo, determinado con las cintas de papel para medir pH se mantuvo en un valor de 5.5, mientras que con el potenciómetro fue de 4.8 a 5.37. Las condiciones ambientales del laboratorio en donde se localiza el equipo de intemperismo acelerado se observan en los datos registrados de humedad relativa, los cuales se muestran en el anexo 1.

Es importante considerar lo indicado por Richter, *et al.* (1995) y Williams y Knaebe (1998) con respecto a que el lijado de la madera antes de la aplicación del acabado puede mejorar la durabilidad del mismo.

A las 100 horas de haber iniciado el ensayo todas las probetas habían cambiado en el tono de color como resultado de la foto-oxidación en la madera por efecto de la luz UV producida por los focos utilizados, lo que concuerda con lo mencionado por

Williams y Feist (1993), quienes indican que la superficie de la madera cambia de coloración al poco tiempo de exposición al intemperismo para después permanecer casi sin alteraciones. En las probetas acabadas con el barniz hydroform[®] este cambio de color (Figura 7) fue más marcado que las acabadas con el barniz 11000[®], debido a que este último tiene mayor cantidad de sólidos implicando así mayor protección contra la luz UV.

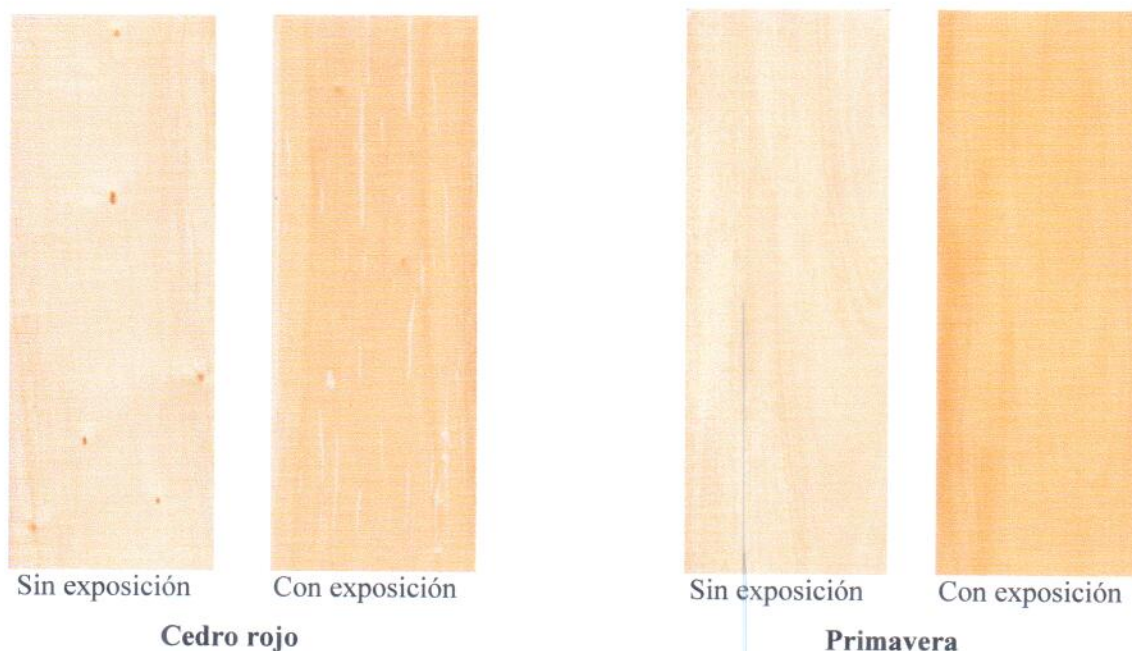


Figura 7. Comportamiento del barniz hydroform[®] en apariencia inicial y apariencia después de la exposición a las condiciones de intemperismo acelerado de las probetas de *Cedrela odorata* L. (izquierda) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (derecha).

La degradación del barniz hydroform[®] en las probetas de cedro rojo y primavera utilizadas en el ensayo, después de 1200 y 2000 horas de exposición respectivamente, se muestra en las Figuras 8 y 9; se puede observar claramente la diferencia entre una especie y otra.

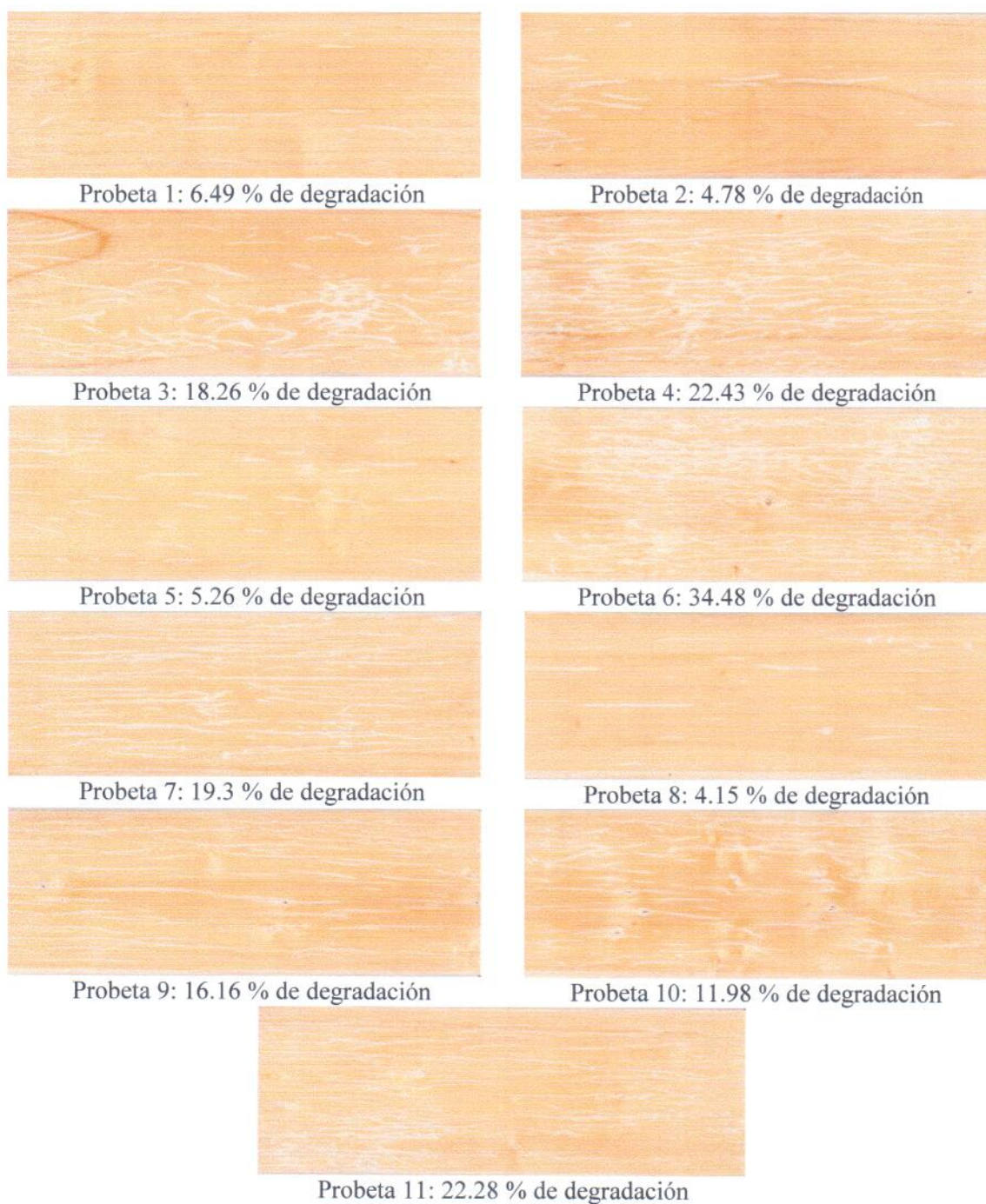


Figura 8. Degradación del barniz Hydroform® a las 1200 horas en las probetas de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo).

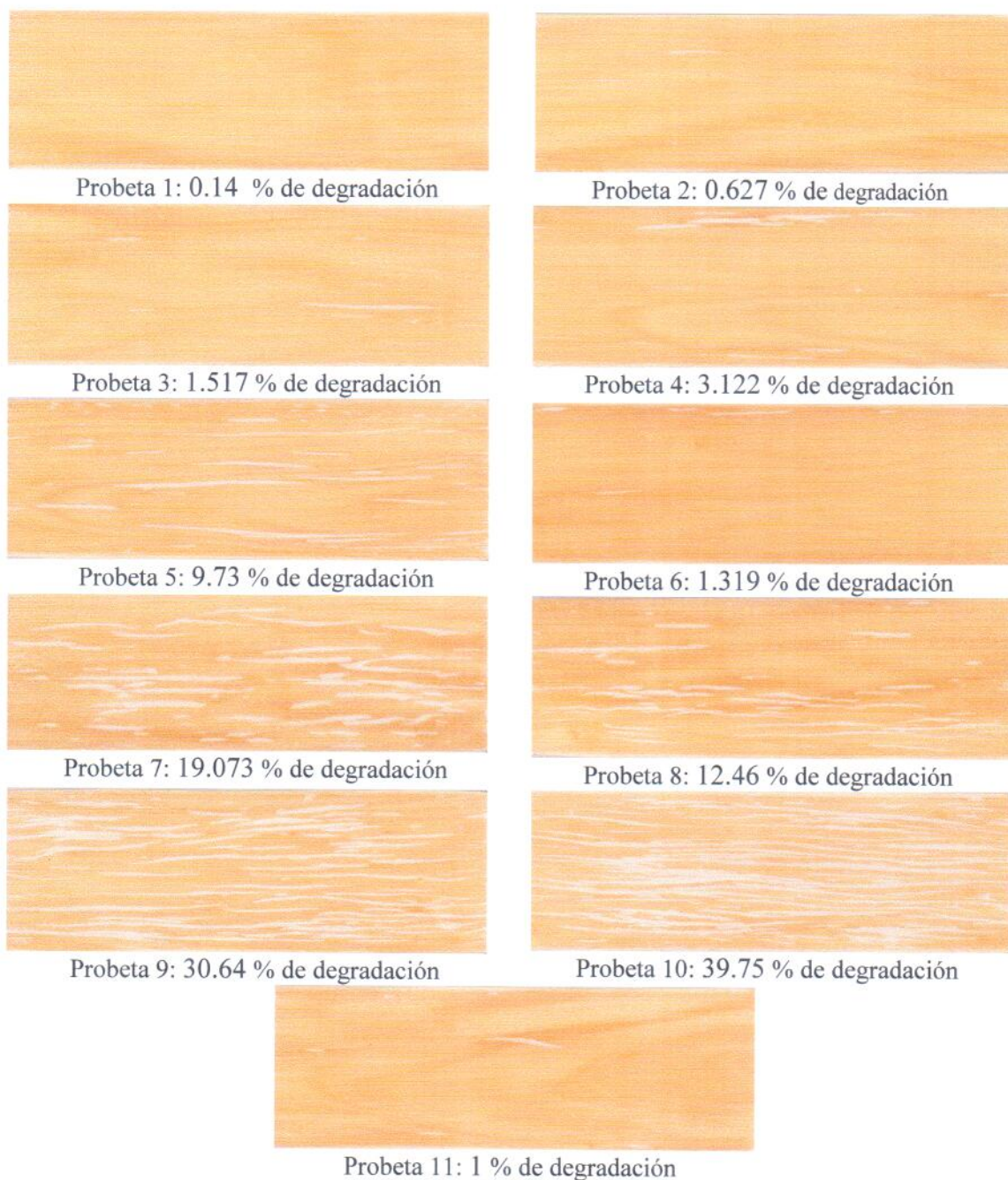


Figura 9. Degradación del barniz Hydroform® a las 2000 horas en las probetas de *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera).

En la Figura 8 se puede observar que la superficie de cada probeta de cedro rojo presenta distinto porcentaje de degradación del barniz, siendo el más bajo la probeta 8 con un 4.15 % mientras que la probeta 6 fue la más degradada (34.48 %) por las condiciones del ensayo de intemperismo acelerado. A diferencia de las probetas 4, 7, 9, 10 y 11, la probeta 1 presenta poca degradación alrededor de los nudos muertos.

En la Figura 9 seis probetas (1, 2, 3, 4, 6 y 11) de primavera presentan poca degradación del barniz en su superficie, siendo la probeta 1 la de menor degradación con un porcentaje del 0.14; mientras que la probeta 10 presenta 39.75 % de degradación, siendo éste el porcentaje más alto en esta especie.

En las Figuras 10 y 11 se presentan los valores promedios en cm^2 y la gráfica de la falla en apariencia (degradación) cada 100 horas de exposición a intemperismo acelerado de las probetas, de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera), en función del tiempo de exposición en horas acabadas con el barniz hydroform[®]. Los valores observados por probeta para este barniz se presentan en los Anexos 2 y 3.

El 10 % de degradación, en promedio, en el caso del cedro rojo se presentó hacia las 900 horas de exposición a las condiciones de intemperismo acelerado en comparación con primavera en donde el 10 % de la degradación se presentó a las 1900 horas de la exposición.

Horas	%degradación
100	0.000
200	0.000
300	0.019
400	0.402
500	0.960
600	6.372
700	7.688
800	9.722
900	10.729
1000	12.126
1100	14.373
1200	15.052

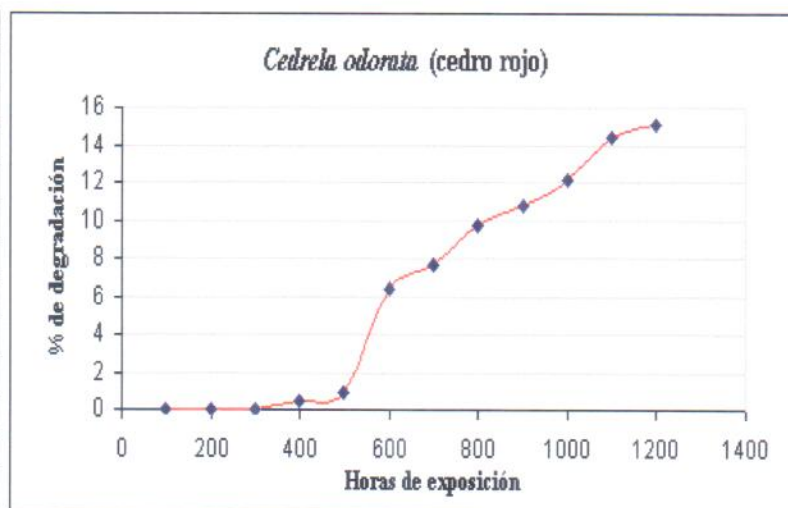


Figura 10. Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz hydroform® en *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en función del tiempo de exposición en horas.

Horas	%degradación
100	0.000
200	0.000
300	0.005
400	0.013
500	0.078
600	0.522
700	0.722
800	1.139
900	1.593
1000	2.135
1100	2.528
1200	2.870
1300	4.262
1400	4.646
1500	5.134
1600	5.759
1700	7.789
1800	8.871
1900	10.011
2000	10.853

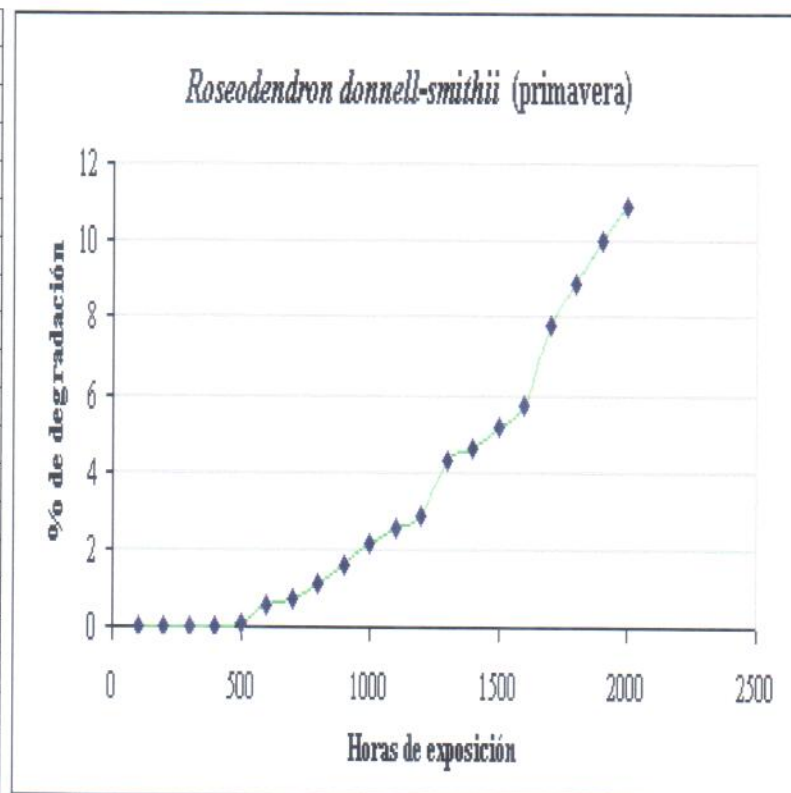


Figura 11. Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz hydroform® en *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) en función del tiempo de exposición en horas.

El barniz hydroform[®] se degradó más rápido en las probetas de cedro rojo que en las de primavera, lo que es opuesto a lo esperado y que es señalado por Knaebe (1995), ya que la densidad de la madera de cedro rojo (0.26 g/cm^3) es menor a la densidad de la madera de primavera (0.35 g/cm^3). Esto puede deberse a que la falla del acabado se presentó inicialmente en las probetas que presentaban nudos muertos, aunque estos fueron muy pequeños, o inclusiones de corteza en donde el barniz no penetró de igual forma que en el resto de la madera, quedando así una capa más delgada en esa zona que al degradarse permitió la entrada de agua en la probeta teniendo como consecuencia que el barniz se agrietara por las tensiones de hinchamiento (al pasar por el agua en la tina) y contracción (al pasar por los focos de luz UV), lo que coincide con lo mencionado por Cassens y Feist (1991) y Williams *et al.* (1996) en que la humedad en combinación con la luz solar ocasionan grietas y rajaduras; Knaebe (1995) también indica que el hinchamiento y contracción de la madera ocasionados por el intercambio de humedad conllevan a la formación de esfuerzos que rompen la película del acabado, permitiendo la entrada de agua por capilaridad, la cual se va acumulando con el consecuente y constante deterioro del acabado.

La degradación del acabado para el barniz hydroform[®] en las probetas de la madera de cedro rojo se inició tanto en las áreas internas (nudos muertos o inclusiones de corteza, vasos) de las mismas como en los cabezales formándose grietas delgadas y alargadas, las que ocuparon mayor superficie conforme el tiempo de exposición aumentaba. En el caso de las probetas de la madera de primavera, aunque los cabezales presentaron pocas grietas delgadas, la degradación se inició en las áreas internas (vasos). Lo anterior se relaciona con los resultados de la proporción de elementos constitutivos,

ya que cedro tiene mayor proporción de poros (vasos) que primavera. Este comportamiento de la falla del acabado es distinto a lo reportado por Flores (1999) y por Tamarit (2002) debido a la influencia del soporte madera y a las capas del producto aplicadas a las probetas. Considerando que en el caso de Flores (1999) el número de capas de barniz aplicadas a las probetas es el mismo al aplicado en el presente estudio, la diferencia en el tiempo de degradación del acabado es muy marcada, a las 250 horas la degradación del barniz fue del 14.36 % para el encino y de 33.45 % para el pino; esto se puede deber más al soporte, ya que en su caso tanto la densidad de la madera del pino (0.47 g/cm^3) como del encino (0.62 g/cm^3) utilizados es mayor que la densidad de la madera de cedro y primavera, además la porosidad del encino utilizado (*Quercus crassifolia*) es circular.

La falla en apariencia fue menor en las partes radiales de las probetas de corte bastardo, así como también en las probetas de corte radial, en ambas especies, lo cual coincide con lo indicado por Cassens y Feist (1991) y Williams *et al.* (1996) quienes señalan que el corte radial contribuye a mejorar la estabilidad dimensional de la madera, siendo menor el esfuerzo a que es sometida la película de barniz y por lo tanto la falla de éste por rajaduras y escamamiento disminuye.

En el caso del barniz 11000[®] la degradación se presentó primero en las probetas de cedro rojo que en las de primavera, lo que coincide con el comportamiento del barniz base agua (hydroform[®]). En las Figuras 12 y 13 se presentan los valores promedios en cm^2 y la gráfica de la falla en apariencia (degradación) cada 100 horas de exposición a

intemperismo acelerado de las probetas acabadas con el barniz base solvente, de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera).

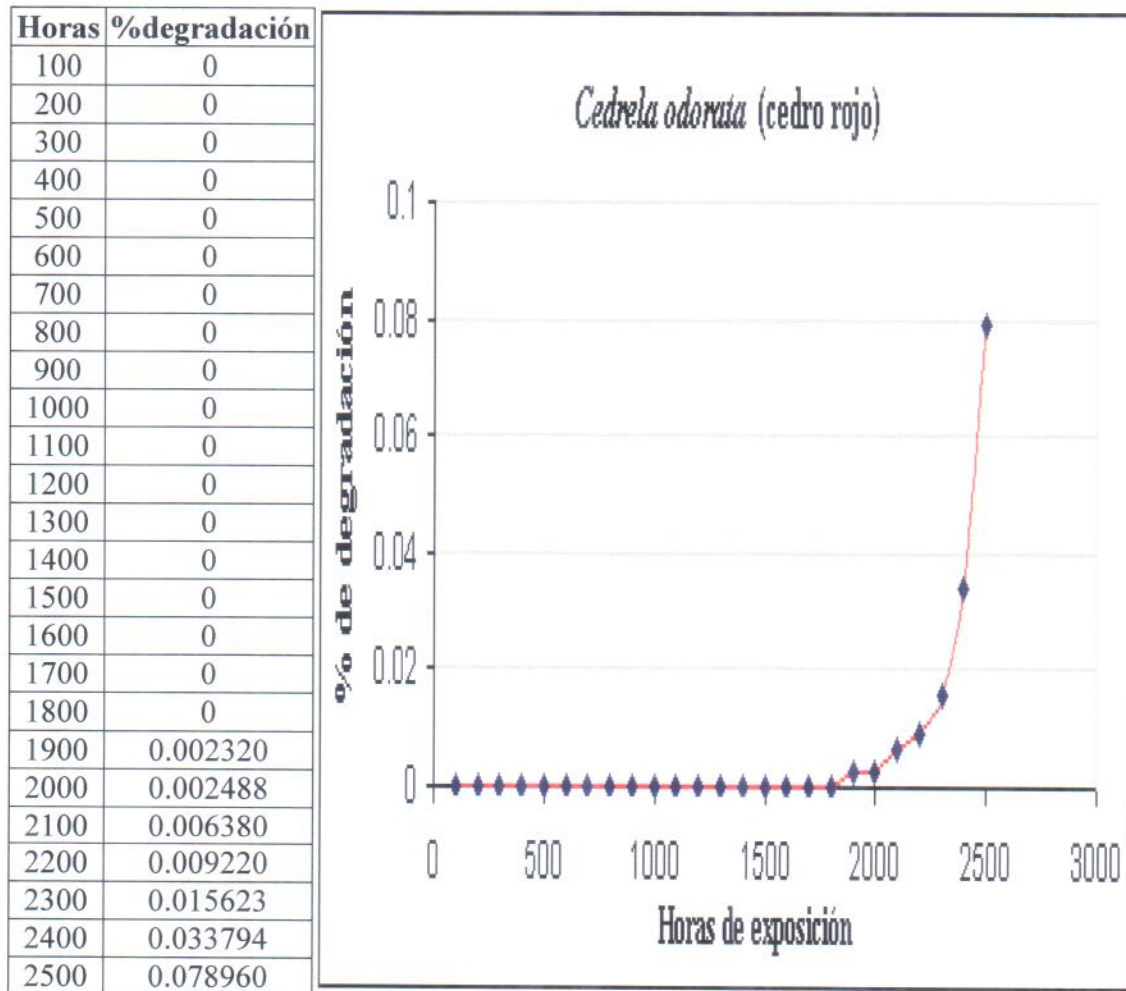


Figura 12. Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz 11000® en *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en función del tiempo de exposición en horas.

A las 2500 horas el porcentaje de la falla en apariencia para este barniz era mínima en las probetas de ambas especies (cedro rojo = 0.0789% y primavera = 0.0085%); lo que hace una gran diferencia con respecto al tiempo en que se presenta la falla en el barniz base agua. El tiempo en que se presenta la degradación del barniz

11000® es superior al reportado por Flores (1999) que fue a las 250 horas para la madera de encino (0.45% de falla) y pino (0.09% de falla); e incluso al señalado por Tamarit (2002), en donde la falla por apariencia se presentó hacia las 600 horas en el caso de las probetas de aile (0.57% de falla) y encino (0.86% de falla) y hacia las 1000 horas para las de pino (0.71% de falla).

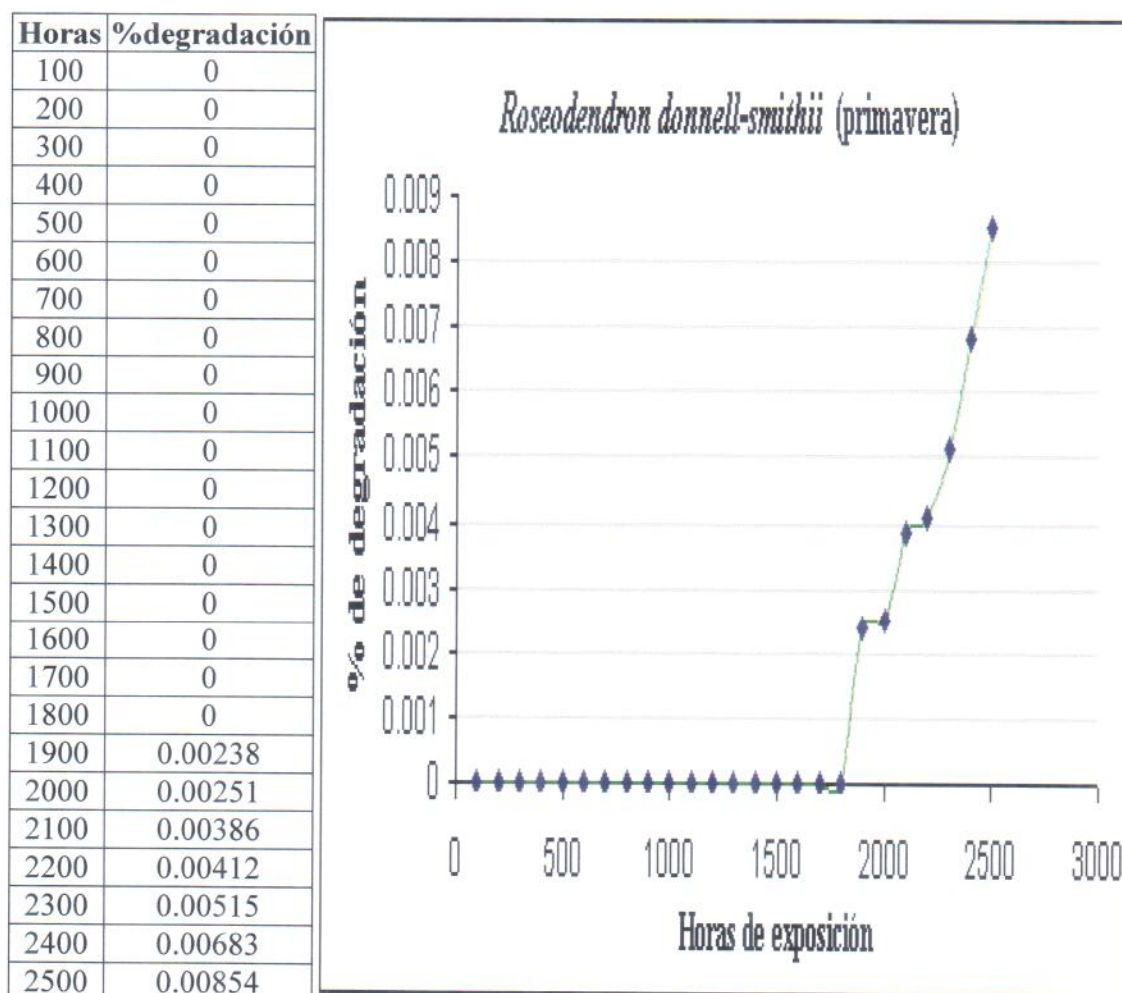


Figura 13. Valores promedios en cm^2 y gráfica de la falla en apariencia (degradación) del barniz 11000® en *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera) en función del tiempo de exposición en horas.

La resistencia a la degradación del acabado base solvente ante las condiciones de intemperismo acelerado en el presente ensayo es mayor que el acabado base agua, debido a que el barniz 11000[®] tiene mayor cantidad de sólidos, lo que implica mayor protección contra la luz UV.

En las Figuras 14, 15, 16 y 17 se muestra el comportamiento de la degradación por especie y por barniz, aplicando el modelo no lineal de Weibull a los valores observados. En el caso del barniz hydroform[®] el comportamiento de la proporción de falla es similar para cedro rojo y para primavera

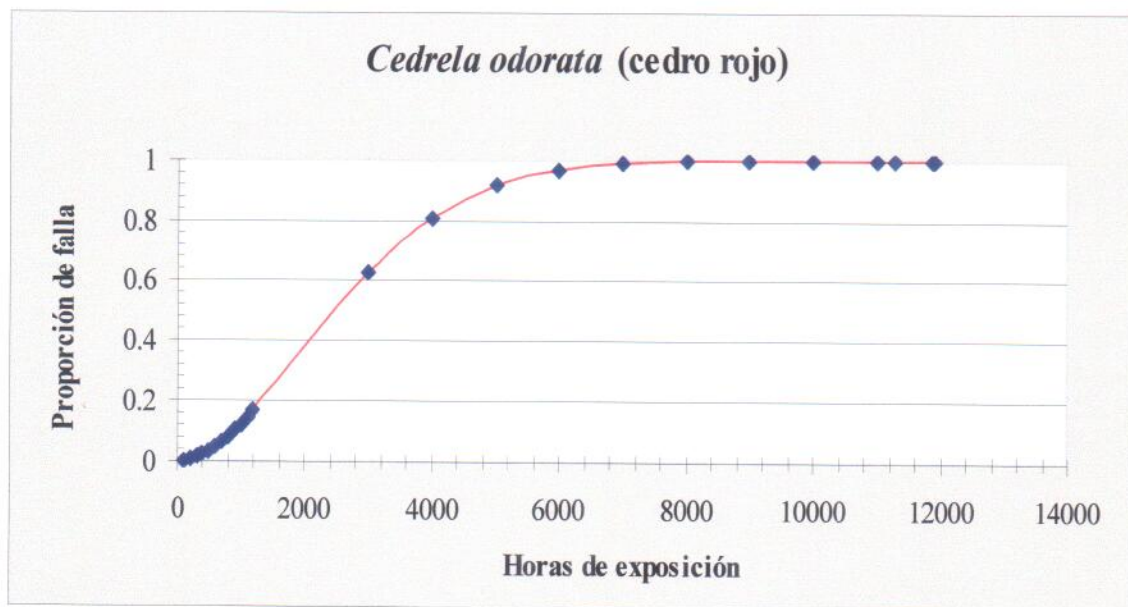


Figura 14. Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz Hydroform[®] aplicando la distribución de Weibull.

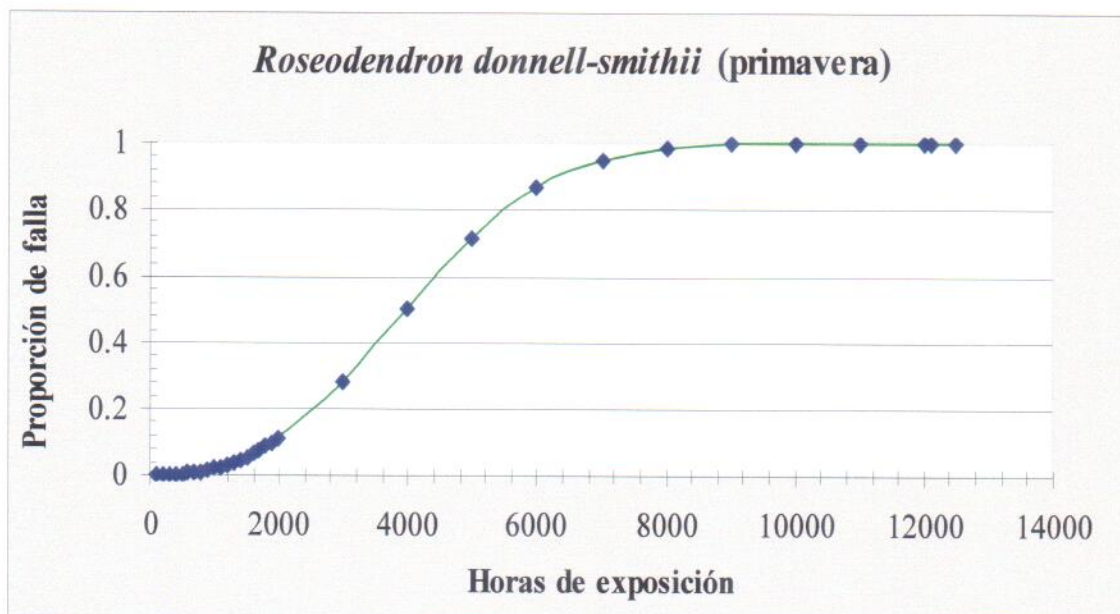


Figura 15. Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz Hydroform[®] aplicando la distribución de Weibull.

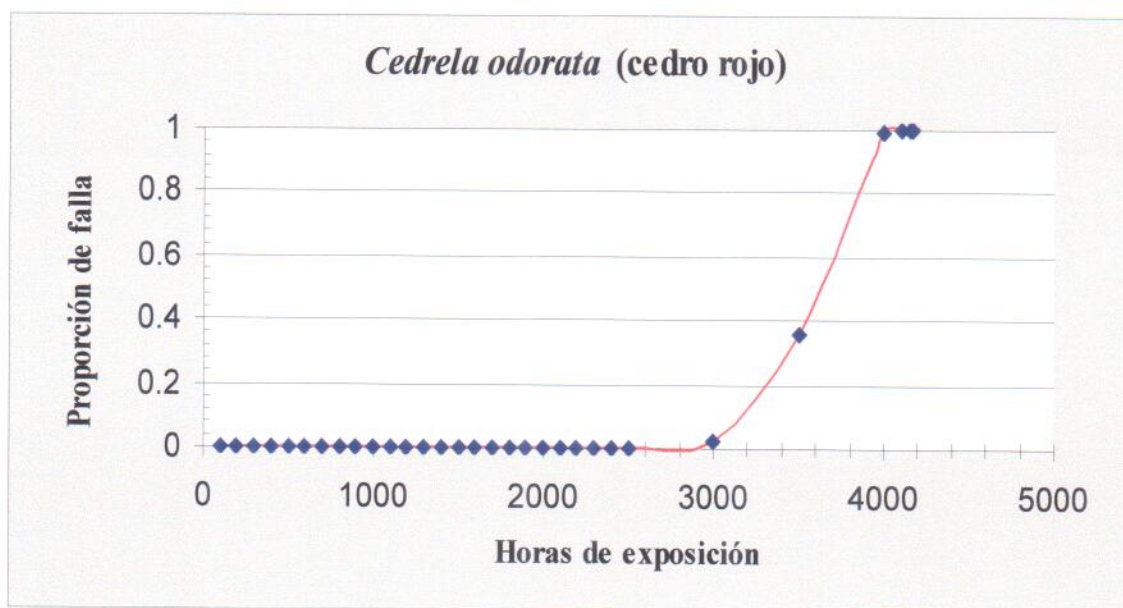


Figura 16. Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz 11000[®] aplicando la distribución de Weibull.

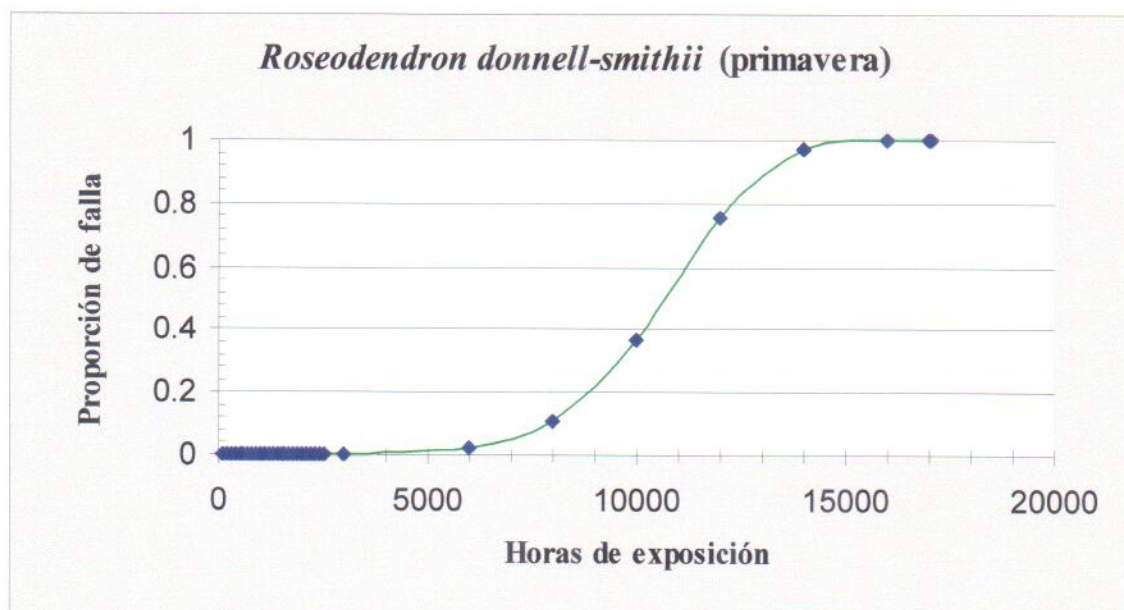


Figura 17. Comportamiento de la proporción de falla (degradación) del barniz 11000® aplicando la distribución de Weibull.

La diferencia entre las especies en el comportamiento de la proporción de falla del barniz 11000®, es que las probetas de primavera requieren de un número mayor de horas de exposición a las condiciones de intemperismo acelerado para alcanzar el valor de 1 que las probetas de cedro.

En el Cuadro 8 se muestran los valores de los parámetros escala y forma para cada especie y acabado utilizado, éstos son el resultado del ajuste de los valores observados al modelo de Weibull. En el anexo 4 se presentan las gráficas de los datos observados y los ajustados.

Cuadro 8. Valores de los parámetros escala y forma del modelo de Weibull.

Barniz	<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)		<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)	
	Escala	Forma	Escala	Forma
Hydroform [®]	3049.8	1.8404	4589.8	2.5756
11000 [®]	3653.4	18.8596	11366.4	6.1684

De acuerdo con lo indicado por Podgorski *et al.* (1996), el intemperismo artificial simulado en la rueda de degradación permite una aceleración de 10 veces al observado en el intemperismo natural; en el Cuadro 9 se presenta el tiempo de vida útil estimado para el acabado con los barnices hydroform[®] y 11000[®] aplicados en madera de cedro rojo y primavera. El tiempo de vida útil del acabado es el equivalente al 10 % de degradación de la superficie que es cuando el fabricante del producto recomienda dar mantenimiento al mismo (reacabado) cuando su uso es en el exterior.

Cuadro 9. Tiempo de vida útil del acabado con los barnices hydroform[®] y 11000[®] en madera de cedro rojo y primavera.

Barniz	<i>Cedrela odorata</i> L. (cedro rojo)		<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda (primavera)	
	Horas	Años	Horas	Años
Hydroform [®]	893.27	1.02	1908.67	2.18
11000 [®]	3240.83	3.70	7879.72	8.99

Los tiempos de vida útil para los barnices utilizados en el presente estudio son altos y completamente distintos a los reportados por Flores (1999) y Tamarit (2002). Flores reporta para el barniz hydroform[®] un tiempo de 76.21 días para la madera de encino y de 15.76 días para la madera pino; en cuanto al barniz 11000[®] de 381.15 días para encino y de 544.26 días para pino; Tamarit reporta en el caso del barniz 11000[®] el tiempo estimado que fue de 5, 5.2 y 5 años para aile, pino y encino respectivamente.

Contrariamente a lo observado por Tamarit (2002), la degradación se presentó en el barniz, en los dos acabados utilizados; la madera no presentó deformaciones, ni manchado por lixiviación de extractivos y tampoco ataque por hongos.

Considerando el soporte madera y los resultados obtenidos en el presente estudio la estimación del tiempo de servicio de los barnices base agua (en el caso de la madera de primavera) y base solvente es mayor al recomendado por el fabricante (1 año) para dar un rebarnizado.

5. CONCLUSIONES

La madera de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y primavera (*Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda) proveniente de plantaciones presentan una clasificación similar en cuanto a sus propiedades físicas; la madera de cedro se clasifica como madera muy ligera, de contracciones medianas y muy estable, mientras que la madera de primavera se clasifica como ligera, de contracciones bajas y estable.

Si se tomara en consideración la densidad básica según Fuentes (1998), esta madera de cedro rojo y primavera, obtenida de plantaciones comerciales de siete años de edad, tendría menor durabilidad y resistencia para usos estructurales y como madera de construcción para exteriores e interiores y pisos, que la madera proveniente de bosques naturales.

La proporción de poros fue mayor en cedro rojo que en primavera, lo cual influyó en la rapidez de degradación del barniz hydroform[®] debido a las tensiones presentadas en la superficie de las probetas por la absorción y pérdida de agua durante el ensayo de intemperismo acelerado.

En las probetas de la madera de cedro rojo se presentó primero la degradación de los barnices empleados aún y cuando la clasificación con respecto a las contracciones

sea la de madera muy estable, por lo que es importante considerar las características anatómicas, las propiedades físicas y el comportamiento de los acabados en conjunto y no por separado.

La degradación del barniz hydroform[®] fue más rápida que el barniz 11000[®] en las probetas utilizadas como soporte. El tiempo estimado para la vida útil de los acabados empleados en esta investigación es: hydroform[®]: cedro rojo = 1.02 años, primavera = 2.18 años; 11000[®]: cedro = 3.70 años, primavera = 8.99 años.

Aunque los tiempos para dar un reacabado a las superficies son mayores a los recomendados por el fabricante, se recomienda tener en cuenta el sustrato madera que será utilizado para la aplicación de los barnices base agua y base solvente. De igual forma es importante considerar una revisión al menos una vez por año para observar el avance de la degradación teniendo sólo como parámetro la vida útil estimada en el presente ensayo.

6. 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., J. SELL y W. C. FEIST. 1991. Wood weathering in fluorescent ultraviolet and xenon arc chambers. *Forest Products Journal*. 41(2): 40-44.

BANOVE, A. 1973. *Paints and coatings handbook*. Structures Pub. Co., Farmington, MI. pp. 185-211.

CASSENS, D. L. y W. C. FEIST. 1991. Exterior wood in the south. Selection, applications, and finishes. GTR-69. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. 56 p.

CHANG, S.-T., D. N. S. HON y W. C. FEIST. 1982. Photodegradation and photoprotection of wood surfaces. *Wood and Fiber Sci.* 14(2): 104-117.

DE LA PAZ PÉREZ O., C., T. F. CARMONA V. y M. A. ROGEL G. 1980. Estudio anatómico de la madera de 43 especies tropicales. *Boletín técnico* # 63. pp. 91-93.

ECHENIQUE, M. R. y F. ROBLES F. 1993. *Ciencia y tecnología de la madera II. Textos Universitarios*. Universidad Veracruzana. México. 127 p.

FEIST, W. C. 1987. Weathering performance of finished yellow-poplar siding. *Forest Prod. J.* 37(3):15-22.

FEIST, W. C. y R. M. ROWELL. 1982. Ultraviolet degradation and accelerated weathering of chemically modified wood. Pages 349-370 in D. N.-S. Hon, ed. *Graft copolymerization of lignocellulosic fibers*. Symposium Series 187. American Chemical Society, Washington, DC.

FEIST, W.C., R. M. ROWELL y W. D. ELLIS. 1991. Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and metacrylated aspen. *Wood and Fiber Sci.* 23(1) 128-136.

FEIST, W. C. y R. S. WILLIAMS. 1991. Weathering durability of chromium-treated southern pine. *Forest Prod. J.* 41(1):8-14.

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). 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. Gen. Tech. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). 2000. Advanced Housing Research Center. Tips and Techniques. Madison, Wisconsin. s/p.

FUENTES S., M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas de importancia comercial en la construcción. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 4(1): 221-229.

FUENTES S., M. (S/F). Apuntes para el curso de tecnología de la madera (I). Serie de apoyo académico N° 33. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 99 P.

GELLERSTEDT, G. y E. L. PETTERSON. 1977. Light-induced oxidation of lignin, part 2. The oxidation degradation of aromatic rings. Sven. Papperstidn. 80:15-21.

HINES, W.W. y D. C. MONTGOMERY. 1997. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. 3ª. ed. Editorial CECSA. México, D. F. 839 p.

HON, D. N-S. 1981. Chap. 8 in N. Grassie, de. Development in polymer degradation. Applied Science Publisher, London, UK. s/p.

HON, D. N-S. y W. C. FEIST. 1980a. Weathering reactions of wood surfaces. Paper presented at the 2nd Chemical Congress of the North American Continent, August 24-29. Las Vegas, NV. s/p.

HON, D. N-S. y W. C. FEIST. 1980b. Role of free radicals in weathering of wood. Paper presented at the 34th Annual Meeting, For. Prod. Res. Soc., July 6-10. Boston, MA. s/p.

HON, D. N-S. y G. IFJU. 1978. Measuring penetration of light into wood by detection of photo-induced free radicals. Wood Sci. 11:118-127.

INEGI. 1985. Carta Edafológica. Escala 1:50000. México, D. F.

INFANTE GIL, S. Y G. P. ZÁRATE DE LARA. 2000. Métodos estadísticos. Editorial Trillas, México. 643 p.

KALNINS, M. A. 1966. Surface characteristics of wood as they affect the durability of finishes, part II. Photochemical degradation of wood. USDA Forest Serv., Res. Pap. FPL-57. Forest Prod. Lab., Madison, WI. s/p.

KNAEBE, M. 1995. The finish line. Forest Service. United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. s/p.

KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo 1º. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 675 p.

KRETSCHMANN, D. E. 1998. Properties and use of wood, composites and fiber products. Properties of juvenile wood. Techline. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. s/p.

KRETSCHMANN, D. E. y B. A. BENDTSEN. 1992. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation loblolly pine lumber. Wood and Fiber Science. 24(2): 189-203.

KRETSCHMANN, D. E., R.C. MOODY, R. F. PELLERIN, B. A. BENDTSEN, J. M. CAHILL, R. H. McALISTER y D. W. SHARP. 1993. Effect of various proportions of juvenile wood on laminated veneer lumber. Res. Pap. FPL-RP-521. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 31 p.

KRIBS, D. A. 1968. Comercial foreign woods on the american market. Dover publications. Inc., New York. 241 p.

LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los Trópicos. Los Ecosistemas Forestales en los Bosques Tropicales y sus Especies Arbóreas- Posibilidades y Métodos para un Aprovechamiento Sostenido. RFA. 335 p.

MACHUCA V., R. 1995. Estudio tecnológico de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Veracruz, México. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx. 144 p.

MUNSELL COLOR. 1988. Munsell® Soil Color Charts. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. 2441 North Calvert Street Baltimore, Maryland 21218. s/p.

PENNINGTON, T. D. y J. SARUKHAN. 1968. Manual para la Identificación de Campo de los Principales Árboles Tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p.p. 238, 378.

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.

POLY-FORM, M. R. Poly-Form de México, S. A. de C. V. La pintura que dura más. s/p.

- PRESTEMON, D. R. 1999. Finishing Exterior Wood Surfaces. Wood use. Iowa State University. University Extension. Electronic version. s/p.
- RICHTER, K., W. C. FEIST y M. T. KNAEBE. 1995. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1. Roughness characterization and stain performance. *Forest Prod. J.* 45(7/8): 91-97.
- ROWELL, R. M., W. C. FEIST y W. D. ELLIS. 1981. Weathering of chemically modified southern pine. *Wood Sci.* 13(4): 202-208.
- ROWELL, R. M., A.-M. TILLMAN y R. SIMONSON. 1986. A simplified procedure for the acetylation of hardwood and softwood flakes for flakeboard production. *J. Wood Chem. Technol.* 6(3): 427-448.
- SALINAS H., S. 2000. Sistemas de clasificación de las características, propiedades y procesos de transformación primaria de las maderas. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Tesis de licenciatura. 196 p.
- SARH. 1982. Comisión del Papaloapan. México, D. F.
- SARH. 1987. Programa de Desarrollo Rural Integral 1987-1992. Distrito 09 Los Tuxtlas.
- SAS, INSTITUTE INC. 1999. SAS Online Doc., Version 8. CD-ROM. SAS Institute, Inc., Cary, N.C.
- STEEL, R. G. D. y J. H. TORRIE. 1986. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª ed. McGraw-Hill. México. 621 p.
- SUDIYANNI, Y., Y. IMAMURA y M. TAKAHASHI. 1996. Weathering effects on several properties of chemically modified wood. *Wood Research.* 83: 55-58.
- SULEMAN, Y. H. y S. H. RASHID. 1999. Chemical treatment to improve wood finishing. *Wood and Fiber Science.* 31(3): 300-305.
- TAMARIT U., J. C. 2002. Determinación de la vida útil del acabado de dos barnices para exteriores en madera de aile, pino y encino mediante intemperismo acelerado. Tesis de maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx. 91 p.
- 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. y W. C. FEIST. 1999. Water repellents and water-repellent preservatives for wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-109. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 12 p.

WILLIAMS, R. S. y M. KNAEBE. 1998. Datos no publicados. En: Williams, R. Sam, Peter Sotos y William C. Feist. 1999. Evaluation of several finishes on severely weathered wood. *Journal of Coatings Technology*. 71(895): 97-102.

WILLIAMS, R. S., M. T. KNAEBE y W. C. FEIST. 1996. Finishes for exterior wood. Selection, applications, and maintenance. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. 127 p.

WILLIAMS, R. S., P. SOTOS y W. C. FEIST. 1999. Evaluation of several finishes on severely weathered wood. *Journal of Coatings Technology*. 71, No.895, 97-102.

WILLIAMS, R. S., CH. JOURDAIN, G. I. DAISEY y R. W. SPRINGATE. 2000. Wood properties affecting finish service life. *Journal of Coatings Technology*. 72, No. 902, 35-42.

WILLIAMS, R. S., M. T. KNAEBE, P. G. SOTOS y W. C. FEIST. 2001. Erosion rates of wood during natural weathering. Part I. Effects of grain angle and surface texture. *Wood and Fiber Science*. 33(1): 31-42.

ANEXOS

Anexo 1. Datos promedio de la humedad relativa registrada durante el ensayo de intemperismo acelerado.

Horas de intemperismo acelerado	TBS °C = Temperatura promedio del bulbo seco.	TBH °C = Temperatura promedio del bulbo húmedo	HR % = Humedad relativa
100	21.5	12.3	22
200	16.6	10.5	13
300	17.2	11.7	13
400	16.8	12.1	13
500	16.5	11.5	13
600	15.9	10.2	13
700	15.3	10.3	13
800	15.5	10.0	13
900	16.0	10.0	13
1000	15.8	10.5	13
1100	16.3	10.3	13
1200	15.8	10.6	13
1300	14.8	10.1	13
1400	14.4	9.2	20
1500	14.0	8.3	27
1600	14.2	7.4	36
1700	14.1	8.8	27
1800	15.9	8.9	27
1900	16.8	10.3	13
2000	17.8	10.4	13
2100	17.3	10.4	13
2200	15.2	9.3	20
2300	16.7	9.0	20
2400	14.6	10.2	13
2500	17.3	9.6	20

Anexo 2. Valores observados por probeta para la falla en apariencia del barniz hydroform[®] en *Cedrela odorata* L. (cedro rojo). P = Probeta.

P	% de degradación del acabado											
	100 hrs	200 hrs	300 hrs	400 hrs	500 hrs	600 hrs	700 hrs	800 hrs	900 hrs	1000 hrs	1100 hrs	1200 hrs
1	0	0	0	0.032	0.353	1.648	2.381	4.174	4.621	4.914	5.516	6.49
2	0	0	0	0	0.328	2.181	2.569	3.336	3.5197	4.257	4.773	4.776
3	0	0	0	0.921	1.737	7.0099	7.451	10.036	10.941	12.408	18.151	18.257
4	0	0	0	0.602	1.881	11.287	12.663	14.257	15.604	21.155	21.215	22.432
5	0	0	0	0	0.328	1.405	1.753	2.868	4.2796	4.487	5.174	5.263
6	0	0	0.082	0.597	1.562	13.627	17.795	19.597	21.97	23.096	33.82	34.48
7	0	0	0.059	0.456	0.693	10.42	11.405	14.13	15.87	17.19	18.08	19.303
8	0	0	0.065	0.171	0.336	0.947	1.395	2.122	2.766	3.158	4.072	4.154
9	0	0	0	0.299	0.829	5.98	7.25	11.07	12.78	14.51	15.54	16.16
10	0	0	0	0.747	1.022	7.538	9.026	9.505	9.538	9.861	11.317	11.977

Anexo 3. Valores observados por probeta para la falla en apariencia del barniz hydroform[®] en *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda (primavera). P = Probeta.

P	% de degradación del acabado																			
	100 hrs	200 hrs	300 hrs	400 hrs	500 hrs	600 hrs	700 hrs	800 hrs	900 hrs	1000 hrs	1100 hrs	1200 hrs	1300 hrs	1400 hrs	1500 hrs	1600 hrs	1700 hrs	1800 hrs	1900 hrs	2000 hrs
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.05	0.07	0.14
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.1	0.17	0.21	0.35	0.36	0.42	0.52	0.62
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.07	0.11	0.13	0.17	0.3	0.47	0.65	0.71	0.94	1.12	1.32	1.52
4	0	0	0	0	0	0	0.05	0.154	0.25	0.28	0.29	0.32	0.73	1.04	1.15	1.82	1.94	2.19	2.64	3.12
5	0	0	0	0	0	0.32	0.39	0.58	0.92	1.47	1.97	2.25	2.94	3.25	3.69	3.94	6.88	8.44	8.98	9.73
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.13	0.24	0.29	0.32	0.42	0.53	0.67	0.95	1.32
7	0	0	0	0.03	0.07	0.62	0.91	1.606	2.61	2.77	3.19	3.93	7.4	8.12	9.6	10.4	13.7	16.1	17.3	19.1
8	0	0	0	0	0	0.06	0.38	0.68	1.01	1.49	1.89	2.6	3.47	4.51	4.82	6.04	8.34	10.2	11.5	12.5
9	0	0	0	0.03	0.48	2.22	2.89	4.23	4.31	6.09	7.42	8.31	13.3	13.7	14.3	16.6	22.1	25.1	28.8	30.6
10	0	0	0.05	0.08	0.29	2.5	3.29	5.28	8.34	11.2	12.7	13.6	18.1	19.2	21.4	22.5	30.4	32.6	37.1	39.7
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.1	0.12	0.15	0.19	0.27	0.41	0.5	0.71	0.88	1

Anexo 4. Gráficas de los datos observados y los ajustados para los acabados utilizados en el ensayo.

