

ABSORCIÓN DE SOLUCIONES PRESERVANTES DE NUEVE ESPECIES DE MADERAS, MEDIANTE PROCESOS DE IMPREGNACIÓN A VACÍO - PRESIÓN E INMERSIÓN

R. Machuca-Velasco; M. Fuentes-Salinas; A. Borja-de la Rosa
Profesores-Investigadores de la División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
Carr. México-Texcoco, Km. 38.5 Chapingo, Estado de México. C.P. 56230.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de conocer la capacidad de absorción de preservadores de las maderas de *Pinus arizonica* (pino blanco), *Pinus engelmanni* (pino real), *Pinus patula* (pino colorado), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Manilkara zapota* (chicozapote), *Spondias mombin* (jobo), *Quercus insignis* (chicalaba), *Quercus laurina* (laurelillo) y *Quercus oleoides* (tesmol), aplicando los procesos de impregnación vacío-presión e inmersión con sales CCA (cobre, cromo, arsénico) tipo C, a 2.5 %; pentaclorofenol (PCP), a 5 %; y creosota a 50 % de concentración. Los niveles de absorción se analizaron con técnicas univariadas. De acuerdo a los niveles de absorción alcanzados con el método de vacío-presión, con las sales CCA (cromo, cobre, arsénico) los pinos, la ceiba y el jobo resultaron fáciles de impregnar, con pentaclorofenol y creosota sólo los pinos resultaron fáciles de impregnar. En cuanto al método de inmersión, con sales CCA, el pino colorado, la ceiba y el tesmol fueron fáciles de impregnar; con pentaclorofenol y creosota, los encinos, el chicozapote y el jobo fueron difíciles de impregnar. Para los pinos, la ceiba y el jobo, la mayor absorción con sales CCA se alcanzó con el método de impregnación a vacío-presión; para los encinos y el chicozapote, la mayor absorción con sales CCA fue con la inmersión prolongada.

PALABRAS CLAVE: pino, encino, latifoliadas tropicales, sales CCA, pentaclorofenol, creosota.

ABSORPTION OF PRESERVATIVE SOLUTIONS OF 9 WOOD SPECIES, BY MEANS OF PROCESSES OF VACUUM-PRESSURE IMPREGNATION AND IMMERSION

SUMMARY

The present work was carried out with the purpose of knowing the capacity of absorption of wood preservers of *Pinus arizonica* (white pine), *Pinus engelmanni* (real pine), *Pinus patula* (red pine), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Manilkara zapota* (chicozapote), *Spondias mombin* (jobo), *Quercus oleoides* (tesmol), by applying the processes of vacuum-pressure impregnation and immersion with CCA salts type C at 2.5 %, pentachlorophenol (PCP) at 5 % and creosote at a concentration of 5 %. The levels of absorption were analyzed with invariable techniques. According to the levels of absorption reached with the vacuum-pressure method, with the CCA salts, the pines the ceiba and the jobo were easy to impregnate, with pentachlorophenol and creosote only the pines were easy to impregnate. As for the immersion method, with CCA salts the red pine, the ceiba and the tesmol were easy to impregnate; with pentachlorophenol and creosote the oaks chicozapote and jobo were difficult to impregnate. The biggest absorption with CCA salts for the pines, the ceiba and the jobo was reached with the method of vacuum-pressure impregnation and for the oaks and the chicozapote the biggest absorption with CCA salts was reached with the lingering immersion.

KEY WORDS: pines, oaks, tropical hard wood, CCA salts, pentachlorophenol, creosote.

INTRODUCCIÓN

La madera, como materia prima, puede ser usada bajo diferentes condiciones climáticas, aunque sean consideradas de alto riesgo al biodeterioro, ya que existen

maderas, que debido a sus propias características son de alta durabilidad natural, otras sin embargo, presentan menor durabilidad o no la tienen, por lo que deben impregnarse con sustancias preservadoras para incrementar su vida útil en servicio.

La preservación de la madera involucra procesos de impregnación con sustancias tóxicas, con la finalidad de aminorar el deterioro biológico, para lo cual existen tres categorías de preservadores: hidrosolubles, oleosolubles y creosotas (Solo *et al.*, 1998). Asimismo, se deben considerar los métodos de impregnación utilizados, los cuales van desde la aplicación del preservador con brocha, hasta los tratamientos a vacío-presión

Para lograr una adecuada protección de la madera, además de considerar el tipo de preservador y el método de impregnación, se debe tomar en cuenta el grado de permeabilidad de la madera a impregnar, dado que existen maderas que se consideran permeables y maderas que, por el contrario, manifiestan una baja permeabilidad. La permeabilidad se define como la facilidad con la cual un fluido se desplaza en la madera en respuesta a una diferencia de presión, esto es importante para cualquier proceso en que un líquido se introduzca o remueva de la madera [Erdoiza y Castillo, *s/f* (a)(b)], como puede ser en el secado y en la preservación, porque indica la facilidad o dificultad con la cual los fluidos pueden transportarse dentro de la madera. Las características que influyen en ésta son: la estructura anatómica, los constituyentes químicos (extractivos), el diámetro de los poros, el volumen de los espacios vacíos, las puntuaciones y la relación de anisotropía, entre otros aspectos (Rice y D'Onofrio, 1996). Históricamente, los preservadores más utilizados son el pentaclorofenol, la creosota y las sales CCA; de estos el más antiguo es la creosota, que data de 1681; hacia 1986 decrece el uso del pentaclorofenol (PCP), que inició en 1931, y remonta la demanda de sales CCA, las cuales aparecieron en 1983. (Barnes y Murphy, 1995).

En México, los principales consumidores de madera preservada son Ferrocarriles Nacionales (durmientes), Teléfonos de México (Telmex), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la industria agrícola (tutores y soportes en los cultivos), los constructores en general (pisos, muros, techos, torres de enfriamiento), y Petroleos Mexicanos (PEMEX), entre otros.

Por otro lado, debido a la gran biodiversidad que existe en México, las especies estudiadas en este trabajo se seleccionaron considerando sus características anatómicas, sus propiedades físico mecánicas y su uso en la industria de la preservación. Entre las coníferas, se consideró a los pinos, porque es el grupo botánico más importante; además de que, por sus características y propiedades se ubican a un nivel medio, en general, respecto a todas las maderas de uso comercial se utilizan para postes. Entre las latifolias están los encinos, grupo que presenta una gran variabilidad, tanto en sus características como en sus propiedades, y se emplean en la elaboración de durmientes; también se consideró a tres latifolias tropicales, por presentar densidades de intermedias a extremas lo cual permitió comparar la absorción de maderas con diferentes densidades básicas en el proceso de impregnación.

Hay que considerar que las características de la madera tienen un papel importante en la penetración del preservador y en el proceso de impregnación utilizado, ya que cada especie es diferente en su estructura anatómica, por lo que es importante conocerla. (Quiñonez, 1974; De la Paz *et al.*, 1980; De la Paz, 1985; Ortega *et al.* 1991; Machuca *et al.*, 1999; Tamarit, 1996; Ortega *et al.*, 1992) En el mismo sentido, Wang *et al.* (1996) mencionan que los vasos son el mayor conductor de flujo, por lo que es importante considerar el tamaño, distribución y contenidos celulares.

El conocer la permeabilidad de las maderas en la industria es importante dado que influye en el tiempo y costo del proceso de impregnación, por lo que este trabajo pretende contribuir a proporcionar elementos a los industriales de la preservación de la madera, para que puedan estimar los tiempos en los procesos de impregnación, entre otros aspectos. Para ello, se consideró determinar los niveles de absorción de las maderas, con respecto a las sales CCA, el pentaclorofenol y la creosota en nueve especies de maderas utilizadas comercialmente, impregnadas a vacío-presión e inmersión, y así, la permeabilidad de dichas maderas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron nueve especies de maderas debidamente identificadas, de un lote existente en el almacén de maderas para estudios anatómicos de la División de Ciencias Forestales, de las cuales se elaboraron, para los diferentes ensayos, 630 probetas de 2 cm x 2 cm de sección transversal x 10 cm de longitud paralela al hilo. Se determinó el contenido de humedad, la proporción de espacios vacíos por unidad de volumen y las diferentes densidades, utilizando la metodología propuesta por Brown *et al.* (1952) y Fuentes (1998), Las especies utilizadas fueron *Pinus arizonica* Engelm, *Pinus engelmanni* Car., *Pinus pátula* Schl. et Cham, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Manilkara zapota* (L.) van Royen, *Spondias mombin* L., *Quercus insignis* Mart et Gal., *Quercus laurina* Humb. et Bonpl. y *Quercus oleoides* Schlechtendal & Cham.

Los preservadores que se utilizaron en los procesos de impregnación fueron: sales CCA, tipo C, a 2.5 % de concentración (base óxidos), en total se utilizaron 500 g de sales; pentaclorofenol (PCP), al 5 % de concentración, se emplearon 15 l, y creosota al 50 % de concentración, disuelta en petróleo industrial, utilizando 15 l.

Se utilizó una autoclave de tipo experimental, de acero fundido, con una capacidad de 10 l, a la cual se le colocaron válvulas de vacío y presión, manómetro, vacuómetro y una válvula de descarga. Para el funcionamiento de la autoclave, se utilizó una compresora y una bomba de vacío (Figura 1).

Los métodos utilizados para todas las especies y productos fueron los procesos de impregnación a vacío-presión (Bethell) y el de inmersión. Se emplearon 10 probetas de cada una de las especies, por cada uno de los productos, por lo que se tuvo, en total, 270 probetas por proceso. Las probetas se sellaron en los cortes transversales con tres aplicaciones de sellador para madera con un tiempo entre aplicaciones de 30 minutos.

Para la impregnación de las maderas con el proceso de vacío-presión, se manejaron hojas de carga, donde se anotaron las características de las especies a impregnar, el producto utilizado, el historial del proceso, las especificaciones y los resultados del tratamiento. Inicialmente las probetas se pesaron e impregnaron en conjunto, colocando una rejilla de separación entre cada especie. La primera etapa consistió en aplicar un vacío inicial hasta alcanzar 48 cm de mercurio y este se mantuvo durante 20 minutos (Figura 2). Como la variable a determinar fue la absorción entre productos, el tiempo se fijó constante para los tres preservadores. Después de haber llenado la autoclave, la presión en el interior se incrementó y se mantuvo a 5 kg·cm⁻² durante 30 minutos. Tan pronto se cumplió el periodo de presión, se abrió la válvula de salida para recuperar el producto. Se volvió a abrir la

válvula de vacío y el vacuómetro, se aplicó un vacío final, hasta alcanzar 48 cm de mercurio, y así se mantuvo durante 10 minutos, (Figura 2). Después se extrajeron las probetas y se les limpió el exceso del producto aplicado. Por último, se volvió a pesar cada una de las 10 probetas de todas las especies y el peso se registró como peso final (Pf) de la madera impregnada.

Para el proceso de impregnación por inmersión prolongada, las probetas de cada especie se colocaron en una malla, con la finalidad de que no se mezclaran, y se tomó el peso inicial de cada una de ellas (Pi). Posteriormente se colocaron en un recipiente y se vertió el producto hasta cubrir las, se dejaron sumergidas durante 12 h y, pasado ese tiempo, se extrajeron y pesaron. Ya pesadas, las probetas se volvieron a introducir en el producto y se pesaron cada 12 h, hasta las 72 h, y después cada 24 h (P₂₄), hasta 192 h. Este peso se registró como peso final (Pf).

Cálculo de absorción

Para el proceso de impregnación de vacío-presión, con los pesos iniciales y finales, se calculó la absorción de cada una de las probetas y el promedio por especie de cada uno de los productos. Para el proceso de impregnación por inmersión, se calculó la absorción total al período final de tiempo de inmersión; los valores intermedios se utilizaron para obtener la absorción en los tiempos determinados, utilizando la siguiente expresión:

$$A = [(Pf - Pi) / (Vp)] / d$$

donde:

- A = absorción (L·m⁻³)
- Pf = peso final (kg)
- Pi = peso inicial (kg)
- Vp = volumen de la probeta (m³)
- d = densidad del preservador (kg·l⁻¹)

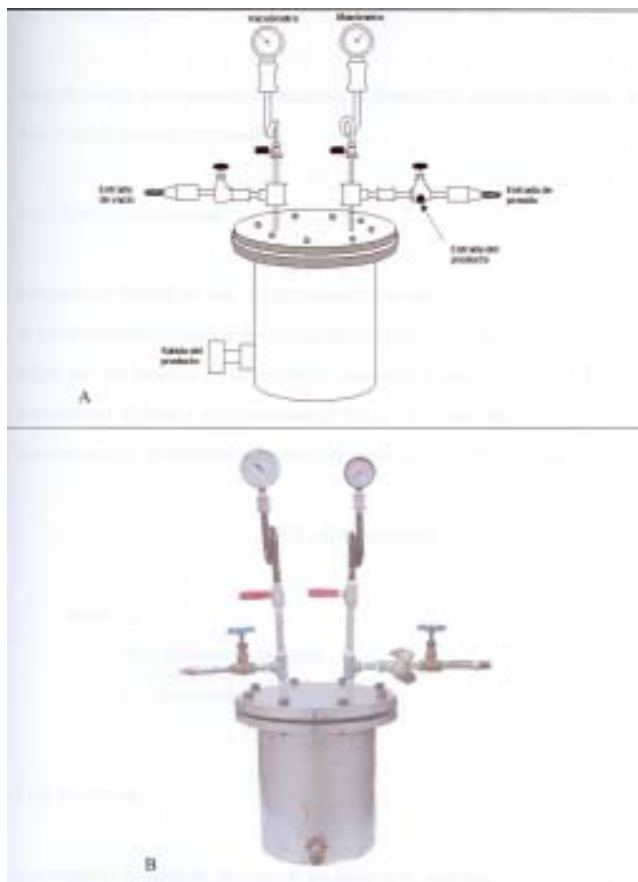


FIGURA 1. Autoclave experimental : A) esquema y B) fotografía. Diseñado por M. C. Mario Fuentes Salinas Dic. 2002.

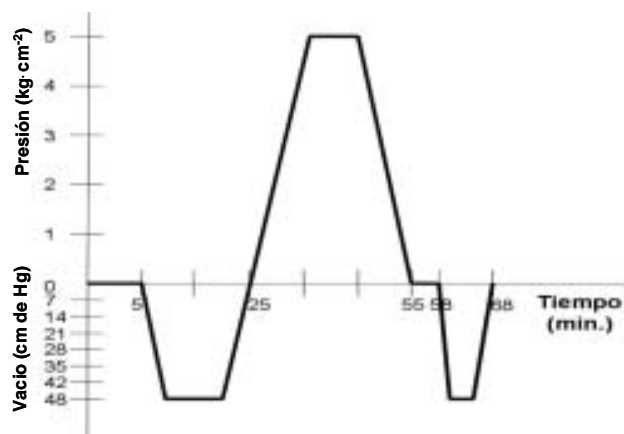


FIGURA 2. Gráfica del proceso de impregnación a vacío-presión aplicado.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza para un diseño completamente al azar, definido por el experimento. El análisis estadístico se realizó aplicando técnicas univariadas, utilizando una comparación de medias de tratamientos a través de la prueba de t. Asimismo, se aplicó un modelo logarítmico para determinar el comportamiento de la absorción, a través, del tiempo por el método de inmersión en las diferentes especies, con el propósito de predecir el tiempo necesario para alcanzar la absorción deseada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de las propiedades físicas de las maderas, en lo que respecta al contenido de humedad, el porcentaje de espacios vacíos, la densidad básica, la densidad verde, la densidad a 12 % de CH y la densidad anhidra de las nueve especies, se muestran en el Cuadro 1. Los procesos de impregnación se llevaron a cabo con una diferencia de ± 2 % de contenido de humedad entre especies.

En la Figura 3 se observa que, con excepción de *P. arizonica* y *Q. oleoides*, las sales CCA presentan la mayor absorción que en el resto de las maderas, lo cual puede deberse a la menor viscosidad de éstas, que es menor que la de la creosota. Si se considera la densidad básica, se puede decir que las maderas con densidad básica media y alta fueron difíciles de impregnar. Esto se explica por la casi nula absorción de la madera de *Manilkara zapota* que, además de tener una densidad alta, presenta contenidos celulares en los elementos de vaso y en las células de parénquima, así como al tamaño de los diámetros de los vasos que son los más pequeños con respecto a las otras especies estudiadas. Los encinos también presentan contenidos celulares, pero los diámetros

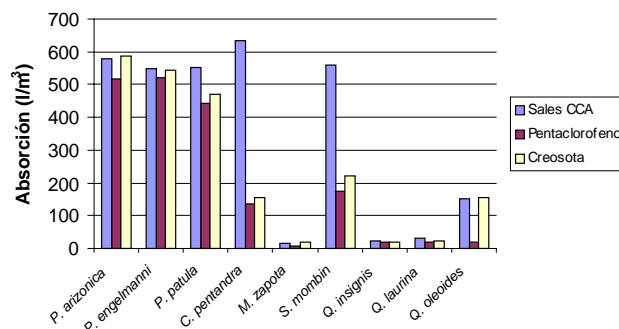


FIGURA 3. Niveles de absorción a vacío-presión, de las sales CCA, pentaclorofenol y creosota.

de los vasos son más grandes que los de las otras especies (Machuca *et al.*, 1999). Lo anterior coincide con Wang *et al.* (1996) quienes mencionan que los vasos son los principales conductos, pero cuando están obstruidos la distribución se lleva a cabo mediante los rayos, para el caso de la madera de *Manilkara zapota*, los rayos también contienen gomas.

En la Figura 4 se presenta la absorción de los tres preservadores estudiados en el proceso de inmersión prolongada; se nota que las sales CCA fue el preservador mayormente absorbido por las nueve especies.

Comparación de medias.

Los resultados obtenidos del análisis de comparación de medias a través de la prueba de t, para cada una de las especies se presentan en el Cuadro 2

En el Cuadro 2 se observa que, para las tres especies de pino, ceiba y jobo, el tratamiento que generó la mayor

CUADRO 1. Características y propiedades de las especies estudiadas.

Especie	Variable					
	CH (%)	Espacios vacíos (%)	Densidad básica	Densidad verde g-cm ⁻³	Densidad normal	Densidad anhidra
<i>Pinus arizonica</i>	9.327	72.48	0.361	0.972	0.446	0.421
<i>Pinus engelmannii</i>	9.256	72.81	0.364	0.976	0.466	0.416
<i>Pinus patula</i>	8.937	60.60	0.491	1.018	0.639	0.602
<i>Ceiba pentandra</i>	10.951	80.00	0.269	1.090	0.368	0.306
<i>Manilkara zapota</i>	9.087	27.18	0.913	1.290	1.119	1.114
<i>Spondias Bombin</i>	8.768	73.52	0.358	1.102	0.447	0.405
<i>Quercus insignis</i>	10.092	39.01	0.742	1.254	0.987	0.933
<i>Quercus laurina</i>	9.220	39.28	0.686	1.214	0.936	0.929
<i>Quercus oleoides</i>	9.311	39.08	0.788	1.286	1.013	0.932

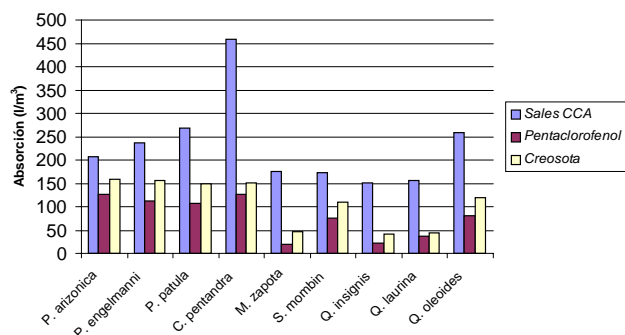


FIGURA 4. Absorción de sales CCA, PCP y creosota en cada una de las especies a inmersión prolongada.

absorción fue el de vacío-presión, con sales CCA como el preservador de mayor absorción. Lo anterior se puede deber a que estas maderas presentan similares porcentajes de espacios vacíos y a su densidad básica, la cual se clasifica de muy ligera a ligera (Vignote y Jiménez, 1996). Para las especies de alta densidad básica, como el chicozapote y los encinos, la mayor absorción se logró con el tratamiento de inmersión con sales CCA, considerando el tiempo total de inmersión aplicado.

CUADRO 2. Comparación de medias de las especies estudiadas con relación a la absorción de los procesos de impregnación.

Proceso de impregnación	Absorción (l-m ³)	Prueba t
<i>Pinus arizonica</i>		
Vacío-presión con creosota	587.50	a 5
Vacío-presión con sales CCA	578.10	a 1
Vacío-presión con PCP	516.50	b 3
Inmersión con sales CCA	206.88	c 2
Inmersión con creosota	158.88	d 6
Inmersión con PCP	126.08	e 4
<i>Pinus engelmanni</i>		
Vacío-presión con sales CCA	548.85	a 1
Vacío-presión con creosota	542.55	a 5
Vacío-presión con PCP	519.98	a 3
Inmersión con sales CCA	238.53	b 2
Inmersión con creosota	156.00	c 6
Inmersión con PCP	113.40	d 4
<i>Pinus patula</i>		
Vacío-presión con sales CCA	550.72	a 1
Vacío-presión con creosota	470.42	b 5
Vacío-presión con PCP	441.45	c 3
Inmersión con sales CCA	267.75	d 2
Inmersión con creosota	148.40	e 6
Inmersión con PCP	107.25	f 4

<i>Ceiba pentandra</i>		
Vacío-presión con sales CCA	634.73	a 1
Inmersión con sales CCA	458.53	b 2
Vacío-presión con creosota	156.08	c 5
Inmersión con creosota	151.90	c 6
Vacío-presión con PCP	137.93	c 3
Inmersión con PCP	127.75	c 4

<i>Manilkara zapota</i>		
Inmersión con sales CCA	176.37	a 2
Inmersión con creosota	45.80	b 6
Inmersión con PCP	18.77	c 4
Vacío-presión con creosota	17.55	c 5
Vacío-presión con sales CCA	16.35	c 1
Vacío-presión con PCP	6.40	d 3

<i>Spondias bomin</i>		
Vacío-presión con sales CCA	560.75	a 1
Vacío-presión con creosota	222.95	b 5
Vacío-presión con PCP	174.55	c 3
Inmersión con sales CCA	174.20	c 2
Inmersión con creosota	109.43	d 6
Inmersión con PCP	75.18	d 4

<i>Quercus insignis</i>		
Inmersión con sales CCA	134.15	a 2
Inmersión con creosota	42.27	b 6
Inmersión con PCP	22.90	c 4
Vacío-presión con sales CCA	21.82	c 1
Vacío-presión con creosota	21.32	c 5
Vacío-presión con PCP	19.80	c 3

<i>Quercus laurina</i>		
Inmersión con sales CCA	157.30	a 2
Inmersión con creosota	42.45	b 6
Inmersión con PCP	37.37	b 4
Vacío-presión con sales CCA	31.22	b 1
Vacío-presión con creosota	24.32	d 5
Vacío-presión con PCP	17.85	d 3

<i>Quercus oleoides</i>		
Inmersión con sales CCA	259.67	d 4
Vacío-presión con creosota	155.02	b 5
Vacío-presión con sales CCA	152.77	b 1
Inmersión con creosota	118.85	c 6
Inmersión con PCP	81.70	a 2
Vacío-presión con PCP	19.32	e 3

Prueba t con letras iguales no existe diferencia significativa.
CCA = Sales: cromo, cobre, arsénico.
PCP = Pinta clorofenol.

Absorción por inmersión a través del tiempo.

Para esta evaluación se tomaron como referencia los niveles de riesgo que establece la Norma NMX-C-322-

ONNCCE- 2003, según las condiciones de uso donde podría estar en servicio la madera. Es decir, para cada nivel de riesgo, se establece una determinada retención de preservador; si se considera la concentración con la que se manejaron los preservadores, la interrogante era determinar el tiempo de inmersión necesario para que cada madera absorbiera la cantidad de preservador para cubrir dichos valores de retención. Los niveles de riesgo, según la Norma Mexicana, son los que se indican en el Cuadro 3:

CUADRO 3. Niveles de absorción para los niveles de retención que establece la Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003 según la concentración preparada de los preservadores utilizados.

Nivel de riesgo	Creosota (l·m ⁻³)	PCP a 5 % (l·m ⁻³)	Sales CCA a 2.5 % (l·m ⁻³)
R1	NR	NR	160.00
R2	NR	128.00	256.00
R3	128.00	160.00	384.00
R4	160.00	192.00	512.00
R5	400.00	NR	1,600.00

En el Cuadro 4 se presentan los tiempos calculados (h) para cada una de las especies en el proceso de inmersión con sales CCA, con base en las ecuaciones generadas y la absorción requerida para cada uno de los niveles de retención y riesgo. Se considera que a partir de las 720 horas (1 mes) ya no es conveniente que se continúe con el tiempo de inmersión de la madera, ya que se vuelve incosteable; no obstante, se reportan los tiempos calculados en que la madera pudiera alcanzar los máximos niveles de absorción.

La única especie que pudiese alcanzar la absorción para lograr la retención requerida para un nivel de riesgo

R4, con una absorción de 512 l·m⁻³, a un tiempo de 332.62 h (13.85 días) fue *C. pentandra*. También esta especie alcanza un nivel de absorción para un nivel de retención para riesgo R3 a 103.96 h (4.33 días). Las especies que alcanzan un nivel de absorción para la retención requerida para riesgo R2 fueron: *P. engelmanni*, con 463.13 h (19.29 días); *P. patula*, con 170.70 h (7.11 días); *C. pentandra*, con 32.49 h (1.35 días); y *Q. oleoides* con 229.56 h (9.56 días). Todas las especies alcanzaron la absorción para los niveles de retención requeridos para proteger la madera en un nivel de riesgo R1, pero las especies que lo alcanzan en menor tiempo, en este nivel de absorción, fueron *P. engelmanni*, con 13.99 h (0.58 días), y *P. patula*, con 13.58 h (0.56 días). Difícilmente se alcanza un nivel de absorción para el nivel de riesgo R5, ya que es mucho el tiempo que se necesitaría para alcanzar el nivel de absorción requerido; en este caso habría que aumentar la concentración de las sales CCA.

En el Cuadro 5 se presentan los tiempos, en horas, calculados con base en las ecuaciones generadas y las absorciones requeridas para los niveles de retención demandados para los diferentes niveles de riesgo, para el caso de PCP.

Para los niveles de riesgo R1 y R5 no se recomienda que se utilice el PCP, debido a las características del mismo. Se observa que ninguna de las especies alcanzó los niveles de absorción necesarios para los niveles de riesgo R4. Para el nivel de riesgo R3, la especie que reportó el menor número de horas de inmersión necesario fue *C. pentandra*, con 791.72 h (32.98 días). Para la absorción de el nivel de riesgo R2, la especie que presentó el menor número de horas también fue *C. pentandra*, con 226.95 h (9.45 días).

En el Cuadro 6 se presentan los tiempos, calculados con base en las ecuaciones generadas y las absorciones requeridas para los niveles de retención demandados para los diferentes niveles de riesgo para el caso de creosota.

CUADRO 4. Tiempo necesario de inmersión con sales CCA a una concentración de 2.5 % para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de retención y riesgo.

Especie	Ecuación logarítmicas	R1	R2	R3	R4	R5
		160 (l·m ⁻³)	256 (l·m ⁻³)	384 (l·m ⁻³)	512 (l·m ⁻³)	1600 (l·m ⁻³)
Tiempo (h)						
<i>P. arizonica</i>	$y = 30.922 \ln(x) + 30.716$	65.43	1459.07	91583.36	5748517.15	1.09734E+22
<i>P. engelmanni</i>	$y = 41.79 \ln(x) - 0.5075$	46.56	463.13	9906.49	211901.94	4.29501E+16
<i>P. patula</i>	$y = 38.373 \ln(x) + 58.766$	13.99	170.70	4796.27	134763.08	2.77485E+17
<i>C. pentandra</i>	$y = 110.06 \ln(x) - 127.12$	13.58	32.49	103.96	332.62	6534009.64
<i>M. zapota</i>	$y = 45.087 \ln(x) - 71.613$	170.21	1431.16	24469.84	418382.94	1.26354E+16
<i>S. mombin</i>	$y = 37.019 \ln(x) - 33.271$	185.09	2475.31	78574.80	2494229.10	1.44873E+19
<i>Q. insignis</i>	$y = 39.106 \ln(x) - 70.02$	358.51	4174.83	110192.39	2908471.19	3.51987E+18
<i>Q. laurina</i>	$y = 36.537 \ln(x) - 48.483$	300.69	4161.17	138254.34	4593479.44	3.93167E+19
<i>Q. oleoides</i>	$y = 65.506 \ln(x) - 100.1$	53.02	229.56	1619.97	11432.12	1.86808E+11

R = Nivel de riesgo.

Absorción de solución...

CUADRO 5. Tiempo que se necesita para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo a inmersión con PCP a una concentración de 5 %.

Especie	Ecuaciones logarítmicas	R1	R2	R3	R4	R5
		NR (l·m ⁻³)	128 (l·m ⁻³)	160 (l·m ⁻³)	192	NR
Tiempo (h)						
<i>P. arizonica</i>	$y = 18.627 \ln(x) + 23.876$	NR	267.72	1492.02	8315.05	NR
<i>P. engelmanni</i>	$y = 19.467 \ln(x) + 4.2781$	NR	575.63	2978.80	15414.80	NR
<i>P. patula</i>	$y = 18.986 \ln(x) + 1.5627$	NR	780.16	4208.89	22706.50	NR
<i>C. pentandra</i>	$y = 25.611 \ln(x) - 10.933$	NR	226.95	791.72	2761.88	NR
<i>M. zapota</i>	$y = 3.418 \ln(x) - 0.1801$	NR	1.93505E+16	2.25239E+20	2.62177E+24	NR
<i>S. mombin</i>	$y = 12.529 \ln(x) + 5.271$	NR	17954.47	230883.55	2969022.45	NR
<i>Q. insignis</i>	$y = 4.5753 \ln(x) - 2.3312$	NR	2.35092E+12	2.56287E+15	2.79393E+18	NR
<i>Q. laurina</i>	$y = 5.54 \ln(x) + 7.6796$	NR	2705313812.45	8.72525E+11	2.81409E+14	NR
<i>Q. oleoides</i>	$y = 12.783 \ln(x) + 11.143$	NR	9335.64	114110.10	1394775.13	NR

NR = no recomendable, R = nivel de riesgo.

No se recomienda que se utilice creosota para los niveles de riesgo R1 y R2, debido a las características de la misma. Se observa que ninguna de las especies alcanzó los niveles de absorción necesarios para proteger la madera ante los niveles de riesgo R5. Para el nivel de riesgo R4, la especie que reporta el menor tiempo fue *C. pentandra* con 314.20 h (13.09 días). Para el nivel de riesgo R3, la especie que presentó el menor tiempo fue *P. arizonica* con 95.07 h (3.96 días).

CONCLUSIONES

En el proceso de vacío-presión, la mayor absorción se dio con las sales CCA en siete de las nueve especies estudiadas. En el proceso de inmersión prolongada, la mayor absorción se dio con las sales CCA en todas las especies.

Entre procesos de impregnación, las tres especies

de pino, la ceiba y el jobo, estadísticamente lograron la misma absorción en el proceso de vacío-presión con sales CCA. Para las maderas de chicozapote y de los encinos, la mayor absorción fue con el proceso de inmersión prolongada.

Entre los mismos encinos, se tuvo una diferencia significativa en el nivel de absorción entre *Q. Oleoides*, con respecto a *Q. Laurina* y *Q. insignis*, en ambos procesos de impregnación fue superior la primera especie, lo que indica que debe considerarse, aún entre este mismo tipo de maderas, la especie correspondiente.

De todas las maderas, la ceiba, que fue la madera más ligera, alcanzó el mayor nivel de absorción, por ambos procesos de impregnación, y se caracterizó como la madera más permeable del grupo. Lo opuesto ocurrió con el chicozapote, que fue la madera menos permeable y la de mayor densidad básica.

CUADRO 6. Tiempo necesario de inmersión para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo con creosota a una concentración de 50 %.

Especie	Ecuaciones logarítmicas	R1	R2	R3	R4	R5
		NR (l·m ⁻³)	NR (l·m ⁻³)	128 (l·m ⁻³)	160 (l·m ⁻³)	400 (l·m ⁻³)
Tiempo en horas						
<i>P. arizonica</i>	$y = 25.889 \ln(x) + 10.085$	NR	NR	95.07	327.24	3474738.50
<i>P. engelmanni</i>	$y = 28.484 \ln(x) - 5.6037$	NR	NR	108.91	34.93	1528355.67
<i>P. patula</i>	$y = 30.483 \ln(x) - 24.557$	NR	NR	149.11	425.99	1118685.17
<i>C. pentandra</i>	$y = 34.79 \ln(x) - 40.049$	NR	NR	125.24	314.20	311251.75
<i>M. zapota</i>	$y = 11.53 \ln(x) - 20.453$	NR	NR	390572.39	6266554.29	6.87042E+15
<i>S. mombin</i>	$y = 22.881 \ln(x) - 16.657$	NR	NR	556.77	2254.50	80981989.55
<i>Q. insignis</i>	$y = 11.34 \ln(x) - 19.584$	NR	NR	448858.10	7544516.53	1.17233E+16
<i>Q. laurina</i>	$y = 12.542 \ln(x) - 25.4$	NR	NR	205028.48	2629571.25	5.37546E+14
<i>Q. oleoides</i>	$y = 24.425 \ln(x) - 11.845$	NR	NR	306.58	1136.40	21033294.56

NR = no recomendable, R = nivel de riesgo.

Con base en los niveles de absorción logrados y las densidades básicas de las maderas ensayadas, se ratifica la correlación negativa existente entre la densidad básica de la madera y la permeabilidad de las mismas.

LITERATURA CITADA

- BARNES H., M.; MURPHY, R. J. 1995. Wood preservation: The classics. *Forest Products Journal* 45(9): 16-25.
- BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. 1952. Textbook of wood technology. Vol. II 1ª edición. McGraw-Hill. Book Company, Inc. 783 p.
- DE LA PAZ P., C.; CARMONA, V.; ROGEL, G. 1980. Estudio anatómico de la madera de 43 especies tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico 63. México, D. F.
- DE LA PAZ P., C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín Técnico 123. México, D. F.
- ERDOIZA S., J. J.; CASTILLO M., I. s/f. (a). Técnicas para la determinación de la retención y penetración de las sustancias preservadoras dentro de la madera. La madera y su uso Núm. 20. Boletín Técnico. LACITEMA. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. 31 p.
- ERDOIZA S., J. J.; CASTILLO M., I. s/f (b). Susceptibilidad de impregnación con preservadores de cincuenta especies maderables mexicanas. La madera y su uso Núm. 22. Boletín Técnico. LACITEMA. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz 17 p.
- FUENTES, S. M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(1): 221-230.
- MACHUCA, V. R.; BORJA DE LA R., A.; ZAMUDIO, F.; BARCENAS P., G. 1999. Propiedades tecnológicas de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, estado de Veracruz. México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(2): 123-129.
- MORALES V, A.; CASTRO G., M.; AVENDAÑO M., P. 1987. Manual de identificación macroscópica de 50 especies maderables Nicaragüenses. IRENA. Managua, Nicaragua. 115 p.
- ONNCCE. 2003. Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003. Industria de la construcción-madera preservada a presión-clasificación y requisitos. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. México, D. F. 5 p.
- ORTEGA, F.; CASTILLO, I.; CARMONA, T. 1991. Anatomía de la madera de veintiseis especies de la selva Lacandona, Chiapas. Angiospermas arbóreas de México Núm. 3. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Azcapotzalco). Boletín Técnico La madera y su uso Núm. 26. México. D.F.
- ORTEGA, F.; GUERRERO, L.; CARMONA, T.; CÓRDOVA, C. 1992. Anatomía de la madera de veintiseis especies de Cosautlan de Carvajal, Veracruz. Angiospermas arbóreas de México Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Universidad Autónoma Metropolitana (Unidad Azcapotzalco). Boletín Técnico La madera y su uso Núm. 19. México, D. F. 206 p.
- QUIÑÓNEZ O., J. O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de cinco especies mexicanas. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín Técnico Núm. 42. México, D. F. 21 p.
- RICE, R.W.; D'ONOFRIO, M. 1996. Longitudinal gas permeability measurement from eastern white pine, red spruce, and balsam fir. *Wood and Fiber Science* 28(3): 301-308
- SOLO, G. H.; PENHA, J.; CATILU, V.; TOWNSEND, T.; TOLOYMAT, T. 1998. Generation, use, disposal and management. Options for CCA- treated Wood for solid and hazardous waste management. Florida Center State University. System of Florida. Gainesville, USA. 54 p.
- TAMARIT U, J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2(2): 29-41.
- VIGNOTE, S.; JIMÉNEZ, F. J. 1996. Tecnología de la madera. Mundi-Prensa. Madrid, España. 653 p.
- WANG, J. Z.; DEGROOT, R. 1996. Treatability and durability of heartwood. National conference on wood transportation structures. October 23-25. Madison, WI.