



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

PROGRAMA DE POSGRADO

**ESTUDIO DE PERMEABILIDAD DE 9 ESPECIES
DE MADERAS MEDIANTE LA IMPREGNACIÓN
DE TRES PRESERVADORES A PRESIÓN E
INMERSIÓN.**

TESIS

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIAS FORESTALES.**



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

PRESENTA:

ROBERTO MACHUCA VELASCO

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



Estudio de permeabilidad de 9 especies de maderas mediante la impregnación de tres preservadores a presión e inmersión.

Por:

Roberto Machuca Velasco

Esta tesis se realizó bajo la dirección de la Dra. Amparo Borja de la Rosa y la asesoría del M.C. Mario Fuentes Salinas, misma que ha sido aprobada por el siguiente Comité Asesor 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.C. Mario Fuentes Salinas

Asesor:


M.C. Alejandro Corona Ambriz

Texcoco, Estado de México; Diciembre de 2003.

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Forestales, por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado y poder así culminar mis estudios de Maestría.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa por la excelente dirección de este trabajo, así como su incansable labor desarrollada en la revisión, sugerencias y culminación del presente trabajo.

A el M. C. Mario Fuentes Salinas por el tiempo dedicado al desarrollo de este trabajo, desde el anteproyecto, el diseño del autoclave, el desarrollo del experimento y la generación y análisis de resultados y por las atinadas observaciones en cada etapa de este proyecto.

A el M. C. Alejandro Corona Ambriz por la excelente participación en el desarrollo estadístico de este trabajo y por su atinada revisión del mismo.

A el Dr. Cuahtemoc Cervantes Martínez por su apoyo y consejos en la parte estadística, así como las observaciones realizadas al presente trabajo.

DEDICATORIA.

PARA:

AMPARO BORJA DE LA R.

POR TODO TU APOYO

BRINDADO Y POR TODOS LOS MOMENTOS

QUE HEMOS COMPARTIDO JUNTOS.

DATOS BIOGRAFICOS.

El autor nació el 24 de febrero de 1969 en Tlaxiaco, Oaxaca. Estudió la carrera de Ingeniero Forestal con orientación en Industrias Forestales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, egresando en 1993. Se tituló con la tesis “Estudio Tecnológico de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Ver., México” en marzo de 1995.

De agosto a diciembre de 1993 trabajó para INEGI como censor en el Censo Económico de 1994 en Texcoco, Estado de México.

De enero de 1994 a marzo de 1995 trabajó como técnico agrícola forestal en el Departamento de Productos Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

De marzo de 1995 a diciembre de 2003 trabaja como Profesor Investigador de tiempo completo en el Departamento de Productos Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN.

Estudio de permeabilidad de 9 especies de maderas mediante la impregnación de tres preservadores a presión e inmersión.

Roberto Machuca Velasco.

Diciembre de 2003.

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

El presente trabajo se realizó con la finalidad de conocer la permeabilidad 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). Se utilizaron 10 probetas de cada especie para cada preservador y método de impregnación, los preservadores empleados fueron sales CCA tipo C al 2.5 %, pentaclorofenol al 5 % y creosota al 50 % de concentración, los métodos de impregnación aplicados fueron vacío-presión e inmersión. Los valores obtenidos de absorción, retención y penetración de las especies se analizaron con el método de la mínima diferencia significativa; para evaluar la absorción por el método de inmersión se aplicó un modelo logarítmico. Con el método de vacío-presión con sales CCA los pinos, la ceiba y el jobo resultaron fáciles de impregnar, con pentaclorofenol y creosota solo 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, para pentaclorofenol y creosota los encinos chicozapote y jobo fueron difíciles de impregnar. Para los pinos, la ceiba y el jobo la mayor absorción fue con vacío- presión con sales CCA, para los encinos y el chicozapote la mayor absorción fue con inmersión con sales CCA. La ceiba a inmersión con sales CCA alcanza una absorción de 512 l/m^3 para un nivel de riesgo R4 en 13.85 días, con pentaclorofenol alcanza una absorción de 160 l/m^3 para un nivel de riesgo R3 en 32.98 días y con creosota alcanza una absorción de 160 l/m^3 para un nivel de riesgo R4 en 13.09 días.

Palabras claves: Pinos, Encinos, latifoliadas tropicales, sales CCA, pentaclorofenol, creosota, absorción, retención, penetración.

ABSTRACT.

Study of permeability of 9 species of wood by means of the impregnation of three preservers under pressure and immersion.

Roberto Machuca Velasco.

December of 2003.

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

The present research was carried out with the purpose of finding out the permeability of the wood of: *Pinus arizonica* (white pine), *Pinus engelmanni* (real pine), *Pinus patula* (red pine), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Manilkara zapota* (chicozapote), *Spondias mombin* (jobo), *Quercus insignis* (chicalaba), *Quercus laurina* (laurelillo) and *Quercus oleoides* (tesmol). 10 test samples (10 x 2 x 2 cm) of each species were used for each preserver and method of impregnation. The preservers used were salts CCA type C with 2.5 %, pentachlorophenol with 5 % and creosote with 50 % concentration. The impregnation methods used were vacuum-pressure and immersion. The values obtained for absorption, retention and penetration of the species were analyzed with the minimum significant difference method; to evaluate absorption by immersion method, and logarithmic model was applied. The pines, the ceiba and the jobo were easy to impregnate with the vacuum-pressure with salts CCA method, while the pines were easy to impregnate with pentachlorophenol and creosote alone. As for the immersion method with salts CCA, the red pine, the ceiba and the tescmol were easy to impregnate, while the oaks, chicozapote and jobo were difficult to impregnate with pentachlorophenol and creosote. For the pines, the ceiba and the jobo, the biggest absorption was with vacuum-pressure with salts CCA, while for the oaks and the chicozapote the biggest absorption was with immersion with salts CCA. The ceiba in immersion with salts CCA reaches an absorption of 512 l/m³ for a level of risk R4 in 13.85 days, with pentachlorophenol it reaches an absorption of 160 l/m³ for a level of risk R3 in 32.98 days and with creosote it reaches an absorption of 160 l/m³ for a level of risk R4 in 13.09 days.

Key words: Pines, Oaks, hard woods, salts CCA, pentachlorophenol, creosote, absorption, retention, penetration.

CONTENIDO

	Pag.
CONTENIDO.	i
LISTA DE CUADROS.	iii
LISTA DE FIGURAS.	vi
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. OBJETIVOS.	5
3. REVISIÓN DE LITERATURA.	6
3.1. Características anatómicas y densidad de las maderas estudiadas.	6
3.2. Efecto de las características y propiedades de la madera en el proceso de impregnación.	8
3.3. Impregnación a vacío-presión e inmersión.	10
3.4. Tipo de preservadores.	15
3.4.1. Creosota.	15
3.4.2. Pentraclorofenol (PCP).	18
3.4.3. Sales de Cobre, Cromo, Arsénico. (CCA).	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS.	28
4.1. Materiales.	28
4.1.1. Especies seleccionadas.	28
4.1.2. Preservadores utilizados.	29
4.1.3. Autoclave experimental.	29
4.1.4. Instrumentos de medición.	29
4.2. Métodos.	31
4.2.1. Contenido de humedad.	31
4.2.2. Densidades.	31
4.2.3. Métodos de impregnación.	32
4.2.3.1. Proceso de impregnación a vacío-presión.	33
4.2.3.2. Proceso de impregnación por inmersión.	35
4.2.3.3. Calculo de absorción y retención.	36
4.2.3.4. Determinación de la penetración.	37
4.2.4. Análisis estadístico.	38

	Pag.
5. RESULTADOS Y DISCUSION.	42
5.1. Propiedades físicas de las maderas de estudio.	42
5.2. Absorción, retención y penetración a vacío-presión e inmersión total.	43
5.2.1. Absorción, retención y penetración a vacío-presión.	43
5.2.1.1. Absorción, retención y penetración en sales CCA.	43
5.2.1.2. Absorción, retención y penetración en pentaclorofenol, (PCP).	48
5.2.1.3. Absorción, retención y penetración en creosota.	51
5.2.2. Absorción, retención y penetración por inmersión total.	55
5.2.2.1. Absorción, retención y penetración por inmersión en sales CCA.	55
5.2.2.2. Absorción, retención y penetración por inmersión en pentaclorofenol (PCP).	59
5.2.2.3. Absorción, retención y penetración por inmersión en creosota.	61
5.2.3. Comparación de medias.	67
5.3. Absorción a través del tiempo por inmersión.	73
5.3.1. Absorción de sales CCA a través del tiempo para las diferentes especies.	73
5.3.2. Absorción de PCP a través del tiempo para las diferentes especies.	77
5.3.3. Absorción de la creosota a través del tiempo para las diferentes especies.	80
6. CONCLUSIONES.	84
7. LITERATURA CITADA.	85
8. ANEXOS.	91

LISTA DE CUADROS.

	Pag.
Cuadro 1. Características anatómicas de las especies de pino.	6
Cuadro 2. Características anatómicas de las especies latifoliadas.	6
Cuadro 3. Densidad básica de las especies estudiadas.	7
Cuadro 4. Procesos de impregnación aplicados por Behr <i>et al.</i> (1969).	12
Cuadro 5. Retención de las especies.	12
Cuadro 6. Retención inicial y final.	17
Cuadro 7. Gradiente del total de óxidos retenidos (kg/m^3) en CCA contra nivel de presión.	26
Cuadro 8. Análisis estadístico sobre la retención del preservador como función del nivel de presión usando sales CCA tipo C.	27
Cuadro 9. Contenido de humedad, porcentaje de espacios vacíos y densidades de las especies estudiadas.	42
Cuadro 10. Clasificación de la densidad básica según Vignote y Jiménez (1996).	43
Cuadro 11. Resultados de la absorción y retención a vacío-presión con sales CCA.	44
Cuadro 12. Clasificación de la penetración a vacío-presión con sales CCA.	45
Cuadro 13. Resultados de la absorción y retención de PCP a vacío-presión.	48
Cuadro 14. Clasificación de la penetración de PCP a vacío-presión.	49
Cuadro 15. Resultados de la absorción y retención con creosota a vacío-presión.	52
Cuadro 16. Clasificación de la penetración de la creosota a vacío-presión.	52
Cuadro 17. Absorción y retención con sales CCA a inmersión total.	56
Cuadro 18. Clasificación de la penetración de sales CCA a inmersión total.	57

	Pag.
Cuadro 19. Absorción y retención con PCP a inmersión total.	59
Cuadro 20. Clasificación de la penetración de PCP a inmersión total.	59
Cuadro 21. Absorción y retención con creosota a inmersión total.	61
Cuadro 22. Clasificación de la penetración de la creosota a inmersión total.	62
Cuadro 23. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Pinus Arizonica</i> .	68
Cuadro 24. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Pinus engelmanni</i> .	68
Cuadro 25. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Pinus patula</i> .	69
Cuadro 26. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Ceiba pentandra</i> .	69
Cuadro 27. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Manilkara zapota</i> .	70
Cuadro 28. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Spondias mombin</i> .	70
Cuadro 29. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Quercus insignis</i> .	71
Cuadro 30. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Quercus laurina</i> .	71
Cuadro 31. Comparación de medias y clasificación de riesgo para <i>Quercus oleoides</i> .	72
Cuadro 32. Absorción de las sales CCA para las diferentes especies a través del tiempo.	74
Cuadro 33. Tiempo que se necesita para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo a inmersión con sales CCA a una concentración de 2.5 %.	76
Cuadro 34. Absorción de PCP para las diferentes especies a través del tiempo.	77

	Pag.
Cuadro 35. 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 %.	79
Cuadro 36. Absorción de la creosota para las diferentes especies a través del tiempo.	80
Cuadro 37. Tiempo que se necesita para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo a inmersión con creosota a una concentración del 50 %.	83
Cuadro 38. Índices de susceptibilidad de impregnación con base en la penetración alcanzada.	91
Cuadro 39. Facilidad de impregnación de la madera basada en la retención alcanzada	91
Cuadro 40. Absorciones mínimas del preservador de acuerdo al grado de riesgo en servicio de la madera. Según Norma: NMX-C-322-ONNCCE-2003.	96

LISTA DE FIGURAS

	Fig.
Figura 1. Autoclave experimental: A) Esquema y B) Fotografía. Diseñado por el M.C. Mario Fuentes Salinas.	30
Figura 2. Grafica del proceso de impregnación a vacío-presión aplicado.	35
Figura 3. Ejemplo de medición de la penetración en el corte transversal.	38
Figura 4. Imágenes de la penetración de las Sales CCA a vacío-presión en las 9 especies.	46
Figura 5. Absorción de sales CCA en las especies a vacío-presión.	47
Figura 6. Penetración de sales CCA en las especies a vacío-presión.	47
Figura 7. Imágenes de la penetración de PCP con el método colorimétrico de acetato cuprico en las 9 especies.	50
Figura 8. Absorción de PCP en las especies a vacío-presión.	50
Figura 9. Penetración de PCP en las especies a vacío-presión.	51
Figura 10. Imágenes de la penetración de la creosota a vacío- presión en las 9 especies.	53
Figura 11. Absorción de la creosota en las especies a vacío-presión.	54
Figura 12. Penetración de la creosota en las especies a vacío-presión.	54
Figura 13. Absorción de sales CCA, pentaclorofenol y creosota en las especies a vacío-presión.	55
Figura 14. Imágenes de penetración de las 9 especies con sales CCA a inmersión total.	57
Figura 15. Absorción de las sales CCA en cada una de las especies a inmersión total.	58
Figura 16. Penetración de cada una de las especies con sales CCA a inmersión total	58
Figura 17. Imágenes de penetración en las 9 especies con PCP a inmersión total.	60

	Pag.
Figura 18. Absorción de PCP en cada una de las especies a inmersión total	61
Figura 19. Imágenes de penetración en las 9 especies con creosota a inmersión total.	63
Figura 20. Absorción de la creosota en cada una de las especies a inmersión total.	63
Figura 21. Absorción de sales CCA, PCP y creosota en cada una de las especies a inmersión total.	64
Figura 22. Absorción de sales CCA en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.	65
Figura 23. Absorción de PCP en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.	66
Figura 24. Absorción de creosota en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.	67
Figura 25. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.	74
Figura 26. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de <i>C. pentandra</i> , <i>M. zapota</i> y <i>S. mombin</i> .	75
Figura 27. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.	75
Figura 28. Grafica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.	78
Figura 29. Grafica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de <i>C. pentandra</i> , <i>M. zapota</i> y <i>S. mombin</i> .	78
Figura 30. Grafica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.	79
Figura 31. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.	81
Figura 32. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de <i>C. pentandra</i> , <i>M. zapota</i> y <i>S. mombin</i> .	82

	Pag.
Figura 33. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.	82

1. INTRODUCCIÓN.

La madera como materia prima puede ser usada bajo diferentes condiciones, muchas de las cuales son 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 tratarse 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, aceitosos y creosota (Solo *et al.* 1998). Así mismo se deben considerar los métodos de impregnación utilizados que van desde la aplicación del preservador con brocha, hasta los tratamientos a presión.

El empleo de métodos de tratamiento y de sustancias preservadoras han convertido a la madera en un material más económico y competitivo dentro del ramo de la construcción. Cuando las sustancias preservadoras, los métodos de tratamiento, la retención y penetración del preservador son seleccionados en función del riesgo al que estará sujeta la pieza de madera, se incrementa la vida útil de la misma (Erdoiza y Castillo, *s/f*).

Un aspecto a considerar es la permeabilidad, dado que existen maderas que son consideradas permeables y maderas que son poco permeables, [la permeabilidad] se define como la facilidad con la cual un fluido atraviesa la madera en respuesta a una diferencia de presión,

esto es importante para cualquier proceso en que un líquido sea introducido o es removido de la madera.

✓ La permeabilidad de la madera es un factor importante en el secado y en la preservación porque indica la facilidad o dificultad con la cual los fluidos pueden ser transportados dentro de la madera, los factores que influyen en está son: la estructura anatómica, los constituyentes químicos (extractivos), el diámetro de los poros, el volumen de los espacios vacíos, las puntuaciones y la anisotropía (Rice y D'Onofrio, 1996).

Estos factores son diferentes en cada especie, lo que quiere decir que no todas las especies se comportan de igual manera ante la aplicación de un preservador; existen especies muy fáciles de impregnar o sea permeables, mientras que otras presentan mayor dificultad, son poco permeables o impermeables. Por ello, para alcanzar la retención y penetración deseada, es necesario conocer la susceptibilidad de impregnación de aquellas especies que se desean impregnar.

En general, se acepta que la albura de todas las especies maderables es permeable al paso de los líquidos, no siendo así con el duramen, donde habrá secciones penetradas y otras en donde la penetración escasamente alcance un milímetro. El agrupar las maderas con base en sus características de susceptibilidad de impregnación facilita los tratamientos con preservadores y permite obtener maderas que cumplan con las especificaciones de penetración-retención, con lo que se incrementa la durabilidad de las piezas en condiciones de servicio (Erdoiza y Castillo, *s/f*).

Los preservadores más utilizados históricamente son el pentaclorofenol, la creosota y las sales CCA, de ellos el más antiguo es la creosota, data de 1681. En 1986 decrece el uso del pentaclorofenol que inició en 1931 y remonta el uso de sales CCA que aparecieron en 1983. (Barnes *et al.* 1995).

Por ejemplo, en Canadá se utiliza una mezcla base aceite de pentaclorofenol (PCP) o creosota y mezclas base agua (CCA) y de arsénico, cromo y amonio (ACA) regulados por el “acta control de productos pesticidas” los niveles de contaminación son bajo (Environnement Canadá, 1997).

Las sales CCA tienen un amplio espectro, el cobre y el arsénico son funguicidas e insecticidas mientras que el cromo fija los químicos a la madera, presentan poco olor y las superficies pueden ser pintadas en seco (Forestry Insights, 1997).

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

Dada la gran biodiversidad que existe en México, las especies estudiadas en este trabajo fueron seleccionadas considerando sus características anatómicas y propiedades físico mecánicas y su uso en la industria de la preservación. Las especies son coníferas y latifoliadas en las primeras se considero a *Pinus arizonica* (pino blanco), *Pinus engelmanni* (pino real) y *Pinus patula* (pino colorado) y en las segundas se tiene a *Ceiba pentandra*

(ceiba), *Manilkara zapota* (chicozapote), *Spondias bombin* (jobo), *Quercus insignis* (chicalaba), *Quercus laurina* (laurelillo) y *Quercus oleoides* (tesmol).

Los pinos fueron seleccionados porque es el grupo botánico mas importante , además por sus características y propiedades que son clasificados en la categoría media y se utilizan para postes, en cuanto a los encinos porque es un grupo que presenta una gran variabilidad tanto en sus características como en sus propiedades y se emplean en la elaboración de durmientes y la ceiba y el chicozapote por presentar densidades extremas el jobo por tener una densidad intermedia, lo cual permitió comparar el comportamiento de estas nueve en el proceso de impregnación, por lo cual se puede esperar que las más ligeras sean más permeables.

El conocer la permeabilidad de las maderas en la industria es importante porque, esta va a influir 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 conocer los tiempos en los procesos de impregnación.

2. OBJETIVOS

- a) Determinar los niveles de absorción, retención y penetración de las sales CCA, el pentaclorofenol y la creosota en 9 especies de maderas utilizadas comercialmente impregnadas a vacío-presión e inmersión.
- b) Estimar la permeabilidad de cada una de las 9 especies estudiadas, con base a los procesos de impregnación y preservadores empleados.
- c) Estimar la posible influencia de las características anatómicas de las 9 especies en la permeabilidad de las maderas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Características anatómicas y densidad de las maderas estudiadas.

Las características de la madera juegan un papel muy importante en la penetración del preservador y en el proceso de impregnación utilizado, ya que cada especie es diferente en su estructura anatómicas, por eso es importante conocerla.

En el cuadro 1 se presentan las características anatómicas de cada una de las especies de coníferas y las especies latifoliadas se presentan en el cuadro 2. (Quiñónez, 1974; Perez *et al.* 1980; Perez, O. 1985; Ortega, *et al.* 1991, Machuca, 1995; Tamarit, 1996 y Ortega, *et al.* S/f)

Cuadro 1. Características anatómicas de las especies de pino.

Especie	Nombre común	Contenido Celular	Traqueidas de madera tempranas				Traqueidas de madera tardia			
			Diámetro de lumen		Grosor de pared		Diámetro de lumen		Grosor de pared	
			Valor (μ)	Clas.	Valor (μ)	Clas.	Valor (μ)	Clas.	Valor (μ)	Clas.
<i>Pinus arizonica</i>	Pino blanco	Resina	31	Mediano	4	md	19	Fino	6	D
<i>Pinus engelmanni</i>	Pino real	Resina	29	Mediano	4	md	21	Fino	8	D
<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	Resina	29	Mediano	4	md	16	Fino	6	D

Clas. = clasificación, md = muy delgado y d = delgado

Cuadro 2. Características anatómicas de las especies latifoliadas.

Especie	Porosidad	Contenidos celulares			Vasos			Fibras			Parenq.	
		Vasos	Fibras	Parenq.	N	D (μ)	L (μ)	D (μ)	ι (μ)	w (μ)	N	Seri- es
<i>Ceiba pentandra</i>	Difusa	T	No	C y G	3	270 m	1923	28 m	18	5 d	3	5
<i>Manilkara zapota</i>	Difusa	T y G	G	C y G	17	89 m	1640	23 m	25	9 eg	11	14
<i>Spondias mombin</i>	Difusa	T	No	C	7	179 m	1161	31 ma	23	4 md	6	4
<i>Quercus insignis</i>	Scircular	T	G	C y Tan	6	181 m	1396	22 m	7	8 g	18	22
<i>Quercus laurina</i>	Difusa a Scircular	T	No	C	4	281 g	1571	25 m	7	9 g	2	15
<i>Quercus oleoides</i>	Difusa	T	No	C y G	7	154 m	1202	17 d	5	6 d	4	23

Parenq = Parenquima, C = Cristales, G = Gomas, N = Número, D = Diámetro, L = Longitud, ι = grosor de pared, m = mediano, g=grueso, d = delgado, md.= Muy Delgado, ma.= muy ancho, eg = Extremadamente grueso y f = Fino; T = Tilosis, Scircular = Semicircular, Tan = Taninos.

Se puede observar que el diámetro del lumen de las traqueidas de madera temprana de los tres pinos es clasificado como medio y el de traqueidas de madera tardía como fino, los tres presentan resina como contenidos celulares.

Se muestra que el diámetro de los vasos en las latifoliadas a excepción de *Quercus laurina*, se clasifican como mediano, con relación a los contenidos celulares la madera de *Ceiba pentandra* y *Spondias mombin* no presentan. El número de vasos/mm² es mayor en *Manilkara zapota* y el menor en *Ceiba pentandra*. [Los vasos son el mayor conductor de flujo por lo que es importante considerar el tamaño, distribución y condición por ejemplo que presenten tilosis] (Wang *et al.* 1996).

También es importante conocer la densidad básica de cada una de las especies para poder clasificar a la madera, en el cuadro 3 se reportan los valores de densidad básica encontrada para cada una de las especies y la clasificación es en base a (Vignote y Jiménez, 1996).

Cuadro 3. Densidad básica de las especies estudiadas

Nombre Botánico	Nombre Común	Densidad Básica (g/cm ³)	Clasificación	Referencia Bibliografica
<i>Pinus arizonica</i>	Pino blanco	0.42	Ligera	Borja et al 1997
<i>Pinus engelmanni</i>	Pino real	0.36	Muy ligera	Calculada
<i>Pinus patula</i>	Pino colorado	0.50	Semipesada	Fuentes 1998
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	0.29	Muy ligera	Fuentes 1998
<i>Manilkara zapota</i>	Chicozapote	0.86	Pesada	Fuentes 1998
<i>Spondias mombin</i>	Jobo	0.49	Ligera	Fuentes 1998
<i>Quercus insignis</i>	Chicalaba	0.70	Semipesada	Machuca <i>et al.</i> 1999
<i>Quercus laurina</i>	Laurelillo	0.82	Pesada	Aguilar 1996
<i>Quercus oleoides</i>	Tesmol	0.86	Pesada	Kukachka 1968

Se tiene que dos especies fueron clasificadas como muy ligeras, dos especies fueron ligeras, dos especies fueron semipesadas y tres se clasificaron como pesadas.

3.2. Efecto de las características y propiedades de la madera en el proceso de impregnación.

En este apartado se presentan estudios que se han realizado en especies de coníferas y latifoliadas relacionadas con los procesos de impregnación

Behr *et al.* 1969 estudió a nivel microscópico las características de la madera impregnada a presión de Pino amarillo del sur (albura y duramen), Abeto douglas (albura y duramen) cedro blanco del norte (albura y duramen); fresno (duramen); haya (albura y duramen); encino rojo (albura y duramen) y olmo americano (albura y duramen). Utilizaron tablas típicas, libres de defectos y acondicionadas de 6 a 8 %, fueron impregnadas a presión con creosota o pentaclorofenol a un 5 % de concentración en forma de aceite aromático. El tratamiento de pentaclorofenol fue a una presión inicial de aire de 20 psi, después ingreso el preservador a una temperatura de 150 °F y una presión de 125 psi por 2:20 hrs, y un vacío final de 27 pulgadas de mercurio durante 1.5 h. Para la creosota de alquitrán el tratamiento fue una presión inicial de aire 25 psi, después ingreso el preservador con una temperatura de 200 °F a una presión de 125 psi por un tiempo de 2 h y un vacío final de 27 pulgadas de mercurio durante 1.5 h.

Mostraron que en las maderas suaves (coníferas) la gran mayoría de los lúmenes fueron llenados ya sea con creosota o pentaclorofenol y se pudo observar una pequeña película de preservador en las paredes celulares. En los rayos la creosota y el pentaclorofenol también se deposita, parece ser que el preservador se mueve de los rayos hacia las traqueidas ya que existe mayor concentración en las traqueidas más cercanas a los rayos.

Estos mismos autores mencionan que en las maderas latifoliadas que presentan poros, se encontro que los poros de la madera tardía fueron llenados con mas preservador, que los poros de la madera temprana, esto se debe a una diferencia en el diámetro de los vasos en lugar de una diferencia de permeabilidad. Los vasos pequeños en madera tardía son más capaces de guardar una película de aceite, las puntuaciones rebordeadas también retuvieron aceite o creosota, se encontraron gotas adheridas a las paredes de los vasos, similar a las traqueidas en las maderas suaves.

Así mismo, en las maderas que contenian tilosis se encontró aceite o creosota, considerando que las fibras son permeables por medio de las puntuaciones, algunas pueden estar llenas a todo lo largo y otras están interrumpidas, pero son importantes hospederas de preservador.

El papel de los rayos en la penetración del preservador no está bien definido en las latifoliadas ya que no se encontró aceite en los rayos anchos, lo cual fue especialmente notable en *Fagus sp*, *Quercus sp* y *Juglans sp*. En los rayos angostos de *Fagus sp* y *Quercus sp*. frecuentemente se encuentra aceite y/o creosota, al parecer el preservador se coloca en las fibras y de ahí pasa a los rayos, el patrón de penetración fue de célula a célula a lo largo del rayo indicando la presencia de puntuaciones simples.

En cambio, Wang *et al.* 1996. mencionan que en las coníferas la comunicación se da entre las traqueidas y los rayos por medio de las puntuaciones sobre todo en la cara radial, la efectividad del tratamiento depende básicamente de la estructura de las puntuaciones (la aspiración y desaspiración) y del número por unidad de área, así como de las traqueidas, y su longitud están directamente relacionados con la efectividad del tratamiento en las

coníferas. En investigaciones realizadas en 200 árboles de *Pinus radiata* de 27 años de edad en Australia encontraron que el porcentaje de puntuaciones aspiradas en albura es de 30 % y en duramen de 96 % y en *Criptomeria japónica* es de 10 y 60 % respectivamente, así mismo *Pinus strobus*, *P. densiflora* y *P. banksiana* la incrustación de las puntuaciones en la albura es casi de cero en cambio en el duramen puede ser del 100 %.

Estos mismos autores muestran que en las latifoliadas los vasos son el mayor conductor de flujo, intervienen el tamaño, distribución y condición por ejemplo cuando están llenos de tilosis están obstruidos, las fibras y los rayos hacen la función de conducción. En algunos experimentos se ha observado que existe CCA y creosota en los rayos, estos son importantes en el transporte transversal, otra situación se da por ejemplo en el nogal, las fibras son los conductores cuando las puntuaciones están bloqueadas y los vasos son aislados, las puntuaciones de latifoliadas son pequeñas y permeables a pesar de que no presentan torus, pero también presentan aspiración e incrustaciones

3.3 Impregnación a vacío-presión e inmersión

Los métodos de impregnación van a depender de las características de la madera, del preservador y del uso al que va a estar destinada, así como del aspecto económico.

Rudman *et al.* 1963 estudiaron el comportamiento de la madera verde de *Pinus radiata* tratada con tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) al 3.2 % peso/peso grado comercial y Pentóxido de Arsénico ($\text{AsO}_5\text{H}_2\text{O}$) al 0.8 % peso/peso grado comercial, utilizando en una primera etapa un programa de vapor-vacío, en el cual el período de vapor fue

incrementándose y después se empleó un programa estandar. Los programas de preservación fueron a célula llena 200 lb/in² de presión por una hora y a célula llena cíclico o intermitente, posteriormente se aplicó otro secado, el contenido de humedad fue en promedio del 26 %. En seguida se realizó un tratamiento de difusión, una parte de la madera fue apilada por una semana, y la otra parte en pilas de madera que fueron colocadas en el preservador a una temperatura de 260° F, bajo presión, manteniéndose hasta 8 h, después se quito la presión y se dejo 16 h más a 80 °F después de este tiempo se dejaron una semana para difusión.

Así mismo se observo que las células parcialmente secas pueden ser llenadas por el preservador, el mejor resultado fue con boro con el programa: ½ h vapor-vacío; ½ h presión, se abate la presión, ½ h presión y secado, por lo que la presión intermitente fue más promisoría. Con relación a los programas de secado estándar se consideraron bastantes satisfactorios.

Así mismo Behr *et al.* 1969 mencionan que en madera tratada a presión de pino amarillo del sur (albura y duramen), abeto douglas (albura y duramen) cedro blanco del norte (Albura y duramen), fresno (duramen), haya (albura y duramen), encino rojo (albura y duramen) y olmo americano (albura y duramen) acondicionados de 6 a 8 %, de contenido de humedad impregnada con creosota o pentaclorofenol a un 5 % de concentración. Los tratamientos utilizados se muestran el cuadro 4. Así mismo en el cuadro 5 se puede observar la retención que obtuvieron las especies, tanto al final como después de siete días de efectuado el tratamiento, el duramen de abeto douglas absorbió más pentaclorofenol y

más creosota que la albura. Sin embargo el duramen del cedro blanco del norte y del encino rojo del norte absorbieron más creosota que la albura.

Cuadro 4. Procesos de impregnación aplicados por Behr *et al.* (1969).

CONDICIÓN	PRODUCTO	
	Pentaclorofenol	Creosota (estándar P-1 AWWA)
Presión inicial aire	20Psi, por 2h20min	20Psi, por 2h
Presión inicial preservador	125Psi (T-150°F), por 2h20min	125Psi,(T-200°F), por 2h
Vació final	27" de Hg. Por 1h 30min	27" de Hg. Por 1h 30min

Cuadro 5. Retención de las especies.

Especie	Zona	Producto			
		Pentaclorofenol (lb/ft ³).		Creosota (lb/ft ³)	
		Reciente	7 días después	Reciente	7 días después
Pino amarillo	Albura	6.4	5.9	11.7	10.8
	Duramen	5.4	4.8	6.1	5.4
Abeto duglas	Albura	17.4	14.0	13.9	12.4
	Duramen	18.1	14.6	19.0	18.0
Cedro blanco del norte	Albura	19.4	15.2	22.1	18.9
	Duramen	18.0	11.7	21.5	15.6
Abeto blanco	Duramen	15.1	9.6	8.1	7.2
Haya	Albura	8.3	8.3	6.9	6.8
	Duramen	---	---	6.1	6.1
Encino Rojo del norte	Albura	11.9	9.8	8.4	7.7
	Duramen	9.3	8.2	11.6	11.4
Olmo americano	Albura	14.7	13.4	17.1	16.1
	Duramen	13.8	11.5	13.6	12.6
Encino rojo del sur	Duramen	10.2	8.4	---	---
Haya rojo	Duramen	3.2	2.4	---	---
Nogal americano	Albura	5.6	4.7	---	---
Sicomoro	Duramen	10.5	8.8	---	---
Larix	Duramen	11.7	8.5	---	---
Noble abeto	Duramen	8.6	5.6	---	---

Por otro lado Maturbongs *et al.* (1996) en un estudio sobre maderas tropicales de Indonesia entre las cuales se encuentra *Spondias dulcis* Kurz con 14 muestras de 30 x 50 x 270 mm,

siete de albura y siete de duramen al 12 % de contenido de humedad, los cabezales se sellaron con resina y se impregnaron con el método de célula llena: vacío preliminar 70 kpa por 20 min a una presión de 1051.75 kpa por 30 min y un vacío final de 80 kpa por 30 min, utilizando una solución al 3.64 % de CCA tipo C en agua.

La densidad al 12 % y la porosidad de cada muestra fue calculada antes del tratamiento, estos valores se usaron para calcular la absorción del preservador y la fracción de espacios llenos de acuerdo a la formula sugerida por Siau (1971).

donde:

W_L = masa absorbida liquida (g)

ρ_L = densidad de liquido (g/cm³)

$(V_a) = 1 - G_{12} (1/G_{cw} + 0.01M)$

$(F_{VL}) = W_L / \rho_L V_a V$

V_a = porosidad de la muestra de madera

$(K/m^3) = 1000 \times F_{VL} \times \rho_L \times V_a$

V = volumen de la muestra antes de tratamiento.

G_{cw} = densidad anhidra relativa de la pared (1.5).

M = porciento de humedad base seca

F_{VL} = fracción de espacios llenos

K/m^3 = liquido captado

La penetración fue determinada tiñendo una rodaja de 5 mm de espesor de cada muestra de la parte media con Cromo azurol el cual es indicador de cobre y se mide el área coloreada usando un digitalizador conectado a la computadora.

Así mismo, se realizaron cortes microscópicos de 20 micras de espesor, los cuales se tiñeron con dithiooxamida, las células que tenían preservador se tiñeron de un color verde oscuro, se contaron el número de manchas y no manchas en los diferentes tipos de células.

Se calculó un índice de penetración:

$$IP = \sum_{i=1}^4 (WiPi) / 45$$

donde:

IP= índice de penetración

W = factor asignado a cada célula (vaso 3, fibras 3, rayos 2 y parénquima 1)

P = rango de porcentaje (0=<10 %, 1= 10 a 30 %, 2= 30 a 50 %, 3 = 50 a 70 %, 4 =70 a 90 % y 5=>90 %)

i = tipo de célula

La absorción fue buena para todas las especies estudiadas, excepto en el duramen de *Spondias dulcis*, la cual tiene una pobre penetración o sea un índice bajo de penetración.

La albura de *Spondias dulcis* presenta un índice de penetración de 1.0.

Rice y D'Onofrio 1996, en un estudio de permeabilidad del gas en sentido longitudinal en abeto rojo (*Picea rubens* Sarg.), pino blanco (*Pinus strobus* L.) y oyamel (*Abies balsamea* (L) Mill.), en tres árboles de cada especie de los cuales se obtuvieron pequeñas probetas a dos diferentes alturas y desde la medula hasta la corteza, se acondicionaron entre 10 y 12 % de contenido de humedad, encontraron que la permeabilidad longitudinal del gas es

diferente en las tres especies, el más permeable es el pino blanco, enseguida el oyamel y finalmente el abeto, el pino blanco es 14 veces más permeable que el abeto, existen diferencias entre árboles en el abeto y el oyamel pero no para el pino, hubo diferencias significativas entre el duramen y la albura en pino y abeto y no las hubo en oyamel, con relación a las alturas no existió diferencia entre las especies, finalmente se puede decir que el movimiento de líquidos es más rápido en el pino que en las otras especies.

Por otro lado, Duncan (2002) menciona la efectividad del tratamiento a presión en postes de pino del sur de 2 x 4 x 18", usando pentaclorophenol al 5 %, creosota y sales CCA. La retención en libras por pie cúbico en el método de presión fue de 4.7, en inmersión durante 18 h de 2.4 y en remojo de 3 min de 0.8, se puede notar que el tratamiento a presión presentó una retención del doble con respecto al tratamiento de inmersión y con relación al remojo fue tres veces, pero este último fue seis veces menor con respecto al de presión.

3.4. Tipo de preservadores.

3.4.1. Creosota.

La creosota es producida por destilación de la hulla bituminosa a altas temperaturas, la destilación consiste de hidrocarburos aromáticos policíclicos sólidos de ácidos y de bases (PAHS), es toxica para hongos e insectos, depende del tipo y concentración de PAHS, es relativamente insoluble en agua, generalmente de bajo costo, su olor picante, acabado aceitoso y las manchas que se hacen a su alrededor lo hacen un material no deseable en algunas situaciones. La creosota es usada cuando la madera está en contacto con el suelo,

en construcciones de riesgo de deterioro cercas, durmientes y estructuras marinas (forestry insights, 1997). Se recomienda para usos exteriores que no tenga mucho contacto con el ser humano (Solo *et al.* 1998) (Environnement Canadá, 1997). La madera creosotada para el uso en la construcción requiere una retención de 8.0 lb/ft^3 (Duncan *et al.* 2002).

Kilmer *et al.* 1998 al impregnar probetas de las especies de *Quercus prinus*, *Q. rubra*, *Acer rubrum*, *Liriodendron tulipifera* y *Pinus spp* con creosota en probetas de 76.2 x 20.6 x 609.6 mm, con el proceso de célula llena, con un vacío de 74.3 cm de Hg por 30 min y una presión de 1034.3 Kpa por una hora, soltando la presión cerca de 5 min posteriormente se drenó la solución y se pesó, esto se realizó para las cuatro especies con excepción de *Quercus rubra* que fue tratada a una presión de 413.7 Kpa a una temperatura del cilindro de 89.4 °C, por 2:50 h posteriormente una presión a 1310 Kpa incrementando la temperatura a 97.8 °C por 6 h, soltando la presión por 30 min y un vacío de 90.8 cm de Hg por 2 h.

Las especies fueron llevadas a un proceso de limpieza con vapor expuestas a 115 °C con presión de 1 at por una hora y un vacío de 50.7 cm de Hg por 30 min, cada muestra fue medida con el fin de conocer la cantidad de creosota removida durante este proceso; se tomo el peso final e inicial estos fueron usados para determinar la retención final como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Retención inicial y final.

Especie	Valor inicial de retención (Kg/m ³)	Valor final de retención (Kg/m ³)
<i>Quercus prinus</i>	187.4	173.0
<i>Quercus rubra</i>	145.8	84.9
<i>Acer rubrum</i>	161.8	145.8
<i>Liriodendron tulipifera</i>	150.6	145.8
<i>Pinus spp</i>	155.4	129.7

Se puede mencionar que *Quercus rubra* es la especie que menos retiene la creosota, pero así mismo *Quercus prinus* es el que más retiene, *Acer rubrum* y *Liriodendron tulipifera* presentan una retención similar y el *Pinus spp* queda enseguida de estas dos especies.

Por otra parte, Crawford *et al.* (2000) estudian la tratabilidad y eficacia de PEC 30W (creosota pigmentada emulsionada) y la creosota en *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, *Acer rubrum*, *Pinus elliotii*, *Pinus palustris* y *Pinus taeda* utilizaron probetas de 25 x 50 x 500 mm para tratabilidad, y de 19 x 19 x 457 mm, 19 x 19 x 19 mm y 3 x 19 x 150 mm para eficacia, se emplearon 30 muestras por especie y 10 por experimento, con concentraciones de 65, 30, 15 y 7.5 %, los ensayos de PEC 30W fueron realizados a muy altas temperaturas de las fases hidrófobas e hidrófilas de la solución tratada y la de la creosota con el método de célula llena modificado, primero se hizo un vacío (28 pulgadas de Hg) por 30 minutos y un tiempo de presión de 180 min a 1005 Kpa y al final un vacío de 30 min, cada solución de tratamiento fue preparada por dilución de la creosota con tolueno peso/peso en por ciento.

Cada especie fue impregnada por separado abeto, encino rojo y pino, se impregnaron con una de las cuatro concentraciones y el maple con dos; la retención se determinó por ganancia de peso y la penetración fue determinada visualmente de acuerdo a la norma

(AWPA M2 -97) en porciento de la sección transversal, en el peso ganado no hubo diferencia entre ambos preservadores en pinos, encino rojo y abeto. Se observo que a mayor concentración mayor porciento de sección penetrada.

3.4.2. Pentaclorofenol (PCP).

[EL pentaclorofenol se recomienda para usos exteriores que no tengan mucho contacto con el ser humano] (Solo *et al.* 1998), este fue utilizado muchos años como funguicida y para combatir a los insectos, pero si se disuelve en la mitad de aceite no es efectivo para los barrenadores marinos; cabe citar que muchos países incluyendo Nueva Zelanda tienen prohibido el uso de organoclorados por su toxicidad y persistencia en el ambiente (Forestry Insights, 1997).

Chudnoff y Goyta (1967) en un estudio sobre impregnación con pentaclorofenol al 5 %. Bajo un programa termal de 2 horas de baño caliente (92-96 °C) seguidos de 2 horas de baño frío (32-35 °C) con incisión y sin incisión, se realizo en postes de 20 especies entre las cuales se encuentra *Pinus caribaea* y se encontró que los postes de pino en estado verde con incisiones presento una retención de 33.0 lb/ft³ y una penetración de 1.6 pulgadas y en los postes secos al aire libre 35.2 lb/ft³ de retención y una penetración de 1.5 pulgadas respectivamente y en los postes secos sin incisión fue de 36.0 lb/ft³ de retención y de 1.5 pulgadas de penetración, no se encontró diferencia entre estos parámetros

Por otro lado, Duncan *et al.* (2002) mencionan que para la construcción de invernaderos se usa como materia prima a la madera y se prefiere a maderas consideradas como durables

entre las cuales se encuentra el pino y el encino rojo aunque también se pueden clasificar como poco resistentes, los encinos blancos se clasifican como resistentes, así mismo mencionan que cuando se usa madera tratada con pentaclorofenol al 5 % con retención 0.50 lb/ft³, esta concentración puede dañar a las plantas, en el primer año este puede ser severo, en el segundo año es moderado y después no hay daño.

3.4.3. Sales de Cobre, Cromo, y Arsénico (CCA).

Las sales CCA están compuestas por [el cromo que es un bactericida, el cobre como funguicida y el arsénico como insecticida. La madera tratada con sales CCA se utiliza en cubiertas, cercas, barcos, muelles, juegos de campo, tablas de pic-nic, en ambientes marinos y terrestres] (Forestry Insights, 1997).

Las sales CCA dominan el mercado [son más amigables con el ambiente,] son las más comúnmente utilizadas en los Estados Unidos de América y en Nueva Zelanda. [El 90 % de los hidrosolubles son CCA,] su ventaja es que no tiene olor y no hay vapores, con bajas retenciones se conserva su apariencia en general (Solo *et al.* 1998. Forestry Insights, 1997).

Duncan *et al.* (2002) mencionan que para el uso de la madera en la construcción de invernaderos la impregnación es altamente deseable, la creosota y el pentaclorofenol son poco utilizados para este uso debido a que son tóxicos para las plantas que se desarrollan ahí, por lo que es más conveniente emplear sales CCA, [el mínimo de retención de las sales CCA para uso sobre el suelo es de 0.35-0.40 lb/ft³, y al contacto con el suelo es de 0.75 lb/ft³.]

Ahora bien, Häger (1969) realizó pruebas de lixiviación de las CCA en aserrín de pino probando diferentes concentraciones (0.075, 0.15, 0.3, 0.6 y 1.2 %) utilizando el ácido crómico como agente fijador, encontró que a bajas concentraciones de cobre se produce un alto porcentaje de fijación de éste, con una baja acidez se incrementa la resistencia a la lixiviación del cobre mucho más que en soluciones sin arsénico. La alta fijación de cobre fue obtenida con bajas concentraciones de cromo, por ejemplo al 0.15 % de cromo, el cobre fue fijado al 91.6 %, en cambio el arsénico se fijo mejor en soluciones más ácidas.

El mismo autor indica que en soluciones ácidas conteniendo bajas concentraciones de arsénico la fijación de éste fue mejor más que cuando el cobre estuvo ausente. A bajo contenido de cromo en solución ácida decrece la resistencia a la lixiviación. En soluciones menos ácidas un cambio en el contenido de cromo presenta un efecto apreciable sobre la fijación de arsénico, es evidente que la reacción de reducción tome más tiempo en soluciones menos ácidas. Lo cual refuerza la importancia de las pruebas de lixiviación y es necesario que se conozca más acerca de los factores que influyen en esta.

Johanson y Dale (1973) en *Pinus radiata* probaron las sales CCA con la finalidad de conocer la cantidad que queda de preservador en la superficie de los postes a los cuales se les aplicó arsénico al 10 %; la retención fue de 12–15 Kg/m³ a un contenido de humedad del 12 %; éstas fueron lavadas y talladas por diez minutos posteriormente se limpiaron y se analizaron, en las caras se encontró 4 mg y en los extremos de 6 a 16 mg de arsénico, lo mismo se hizo con cobre, la fracción soluble represento solo una porción pequeña del total de arsénico removido con el procedimiento de lavado. El lavado persistente durante 10

minutos puede remover por lo menos 1.2 mg de arsénico y 1.5 mg de cobre por 100 cm², y el cobre no alcanza niveles tóxicos.

En el mismo orden de ideas Ruddick *et.al.* (1994) mencionan que muestras de pino ponderosa fueron impregnadas con sales CCA, posteriormente almacenadas en condiciones ambientales, estas fueron analizadas por medio de resonancia, encontrando que la fijación de sales CCA se acelero con tratamientos de vapor produciendo inicialmente una fuerte señal de cromo (V) la cual rápidamente decrece a una completa reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) en dos horas. Las muestras almacenadas en condiciones ambientales después de 44 días muestran señales moderadas de cromo (V).

Las muestras tratadas con sales CCA y secadas durante cuatro días no transformaron todo el cromo (V), formándose un intermediario trivalente. La lixiviación de las muestras tratadas con sales CCA confirmó que la fijación fue mejor con el tratamiento de vapor. El secado causó en las muestras una lixiviación de grandes cantidades de cobre y pequeñas cantidades de cromo y arsénico.

Con relación al contenido de humedad, Coetzee y Larr (1977) estudiaron el efecto de las sales CCA en *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* empleando madera de albura y duramen de 12 árboles a 25, 50, 75 y 100 % de contenidos de humedad (CH) y los tratamientos fueron vacío (22 pulgadas de Hg) por 20 minutos, para todos los tratamientos se bombearon las sales CCA a una presión de 80 lb/in² a diferentes tiempos 5, 10, 15, 20 y 30 minutos, para el duramen se mantuvo el tiempo de 30 minutos posteriormente se secaron aproximadamente al 12 % de (CH) se muestra una fuerte evidencia de que la madera puede

ser tratada con niveles de humedad cercana al 25 %, la absorción es diferente para las diferentes especies y diferentes densidades, los análisis químicos de arsénico y cobre en diferentes zonas indican que a altos niveles de contenido de humedad no afecta la película de cobre y arsénico y la penetrabilidad de las Sales CCA no es reducida por la preservación a altos contenidos de humedad.

Por otro lado, Winandy (1995) estudiaron la relación que existe entre el contenido de humedad, el tiempo de falla en madera tratada y no tratada con CCA, en piezas de madera de 38 x 89 mm y 2.3 m de longitud de pino del sur secadas a un 15 % (máximo 19 %) de contenido de humedad. Utilizando el proceso de célula llena, la solución empleada fue al 2.8 % de sales CCA tipo C con una retención de 6.4 kg/m^3 , después del tratamiento la madera se equilibra a un 10 % de contenido de humedad. Para determinar la retención fueron cortadas pequeñas muestras de aproximadamente el 10 % de la probeta, después del ensayo mecánico se determinó por método de fluorescencia la retención promedio de sales CCA esta fue de 7.3 Kg/m^3 con una desviación estándar de 1.4 Kg/m^3 .

Sin embargo, Kumar *et al.* (1990) mencionan que para medir la permeabilidad en ocho especies de maderas de la India utilizaron probetas de duramen de 305 x 38 x 38 mm a un 12.5 % de contenido de humedad, sellaron los extremos con una resina sintética y una solución al 4 % de sales CCA. Las probetas se trataron a una presión de 3.5 kg/cm^2 a 12.25 kg/cm^2 por periodos de 30 min a 2 h.

La retención fue calculada en términos del porcentaje del volumen de espacios vacíos ocupados por agua/solución química, así como el peso de la sal por unidad de volumen base

y la penetración fue obtenida por el indicador cromo azulol, el grado de penetración del preservador a nivel microscópico fue estimado por el porcentaje de las células penetradas con cristales de nitrato de plata. Utilizando la formula siguiente:

$$IP = \sum_{i=1}^4 W_i P_i / 27$$

donde:

IP = índice de penetración

W = peso del factor asignado

P = grado de penetración de cada célula asignado, [cero (-10 %), uno (10-30 %), dos (30-60 %), tres (+60%,), alta (Máxima 100)].

El incremento en tiempo y presión no presento un aumento en la retención de las tres especies, los espacios llenos están en un rango de 25-36 %, todos los tipos de células fueron penetradas, la retención puede ser controlada por cambios en la concentración, en las otras especies la penetración de las fibras se ve limitada por los vasos contiguos se necesitaría alta presión y tiempos prolongados. La retención depende de los espacios en la estructura y de la densidad de las especies, la distribución microscópica del preservador puede ser un factor importante para la clasificación de impregnación de la madera.

Por otro lado, Feist *et al.* (1991) compararon la eficacia de las sales CCA en maderas con un acabado y sin acabado, las cuales son expuestas a un intemperismo acelerado, la madera utilizada en este estudio fue pino del sur en probetas de 75 x 9.3 x 100 mm (longitudinal). Para la impregnación con sales CCA se utilizó un tratamiento a presión de célula llena con

una retención de $4.0 \text{ kg/m}^3 \pm 0.8 \text{ kg/m}^3$, los acabados que se usaron para la madera no tratada fueron pinturas acuosas, para las maderas tratadas fueron acabados semitransparentes base aceite y color acrílico de látex y un testigo. El intemperismo se llevo a cabo en una cámara de intemperismo comercial; los resultados mostraron que existe una erosión más alta en la madera no tratada, disminuye $\pm$ un 77 %; los químicos de las sales CCA tuvieron una penetración completa en la madera por lo que la protege por largo tiempo contra la erosión.

Por otra parte, Vick *et al.* (1992) utilizan madera de 19 mm de *Pinus sp* impregnada con sales CCA, con un proceso comercial con una retención de 6.41 k/m^3 la cual fue condicionada al 12 % de contenido de humedad, los adhesivos que se utilizaron fueron alcalino-catalizado y resol-fenolformaldehido (preparación experimental), utilizando el microscopio electrónico de barrido, se mostró que el lumen de las células tratadas están cubiertas con sales CCA, estas se depositan alineadas con las microfibrillas de la pared celular, por lo que la adhesión por bloqueo mecánicos del adhesivo fenolico profundo en la estructura celular de la madera tratada puede producir una resistencia a la delaminación en la unión incluso después de severos ciclos de envejecimiento.

En otro sentido, Maldas *et al.* (1998) realizaron un estudio para conocer la superficie de tensión y la capacidad de humedecerse de la madera de *Acer* impregnada con sales CCA tipo C con un 2 % de óxidos totales, para lo cual impregnaron bloques de madera de $137 \times 18 \times 5 \text{ mm}$ a un contenido de humedad en equilibrio de $10 \pm 2 \%$, con una retención de 12.8 Kg/m^3 , el programa que se siguió fue de un vacío inicial de 24 pulgadas de Hg, presión absoluta por 10 min seguido de una presión de 1.03 Kpa por 15 min y un vacío final de 15

min los bloques fueron almacenados por una semana antes de ser secados y acondicionados.

Observaron que la superficie de tensión de la madera impregnada y no impregnada no presenta gran diferencia, según el método que se utilice para determinar el total de superficie de tensión será el resultado obtenido.

Kamdern *et al.* 1999 estudiaron el comportamiento de las propiedades mecánicas de *Acer rubrum*, *Acer saccharum*, *Fagus grandiflora* y *Quercus rubra*, en cuatro niveles de presión de 0.69 Mpa, 1.38 Mpa, 2.07 Mpa y 2.76 Mpa, utilizando sales CCA tipo C. Se impregnaron 10 muestras de 19 x 19 x 435 mm determinándose la densidad a cada una de ellas y formando ocho grupos. Así mismo se realizó un factorial considerando la absorción, la solución, el módulo de elasticidad, el módulo de ruptura en flexión estática, como variables dependientes y la especie, el tratamiento de presión y el preservador como variables independientes.

Las muestras fueron selladas con resina, pesadas antes y después del tratamiento, la solución utilizada fue a un 2 % de óxido de sales CCA tipo C, a un vacío inicial de 625 mm de Hg durante 30 min y 2 h de presión, el nivel de la presión fue alcanzado en 5 min y un vacío final de 625 mm de Hg por 30 min, la retención química se calculó con la fórmula siguiente:

$$CR = C*(FW-IW)/(L* D* W)$$

donde:

CR = Retención química Kg/m³
 C = Contenido de óxidos de la solución
 FW = Peso final
 IW = Peso inicial
 L = longitud
 W = Ancho
 D = Espesor

En el cuadro 7 se observan el gradiente de total de óxidos retenidos las dos especies de *Acer* son porosidad difusa, sin tilosis y absorbieron más solución que *Quercus rubra* y *Fagus grandiflora* a los niveles de 0.69 Mpa y 1.03 Mpa.

Cuadro 7 Gradiente del total de óxidos retenidos (kg/m³) en CCA contra nivel de presión.

Presión MPa	Descripción	<i>A. rubrum</i>	<i>A.saccharum</i>	<i>Q.rubra</i>	<i>F.grandiflora</i>
0.69	XT	11.8	10.8	8.5	2.0
	SD	4.6	2.9	3.5	3.8
1.03	XT	12.2	11.2	9.4	5.5
	SD	3.0	2.7	3.1	3.4
1.38	XT	12.4	11.3	10.4	4.7
	SD	2.5	2.4	2.8	3.4
2.07	XT	12.4	10.8	10.4	6.2
	SD	2.4	1.8	2.9	1.8
2.76	XT	12.7	11.0	10.2	7.5
	SD	1.8	1.3	2.5	2.0

XT= media total, SD= desviación estándar.

El cuadro 8 muestra que estas dos especies fueron mejores en todos los niveles de presión; estas satisfacen los 10 kg/m³ de sales CCA como retención requerida, sin en cambio *Quercus* a un nivel de 1.03 Mpa en 2 h, se alcanza una retención de 9.44 ± 3.12 kg/m³ y *Fagus* a un nivel de 2.76 MPa alcanzo una retención de 7.5 ± 2.01kg/m³, para esta especie la retención alcanzada no fue recomendable.

Cuadro 8. Análisis estadístico sobre la retención del preservador como función del nivel de presión usando sales CCA tipo C.

Especie	Presión Mpa				
	0.69	1.03	1.38	2.07	2.76
<i>A. rubrum</i>	A	A	A	A	A
<i>Q. rubra</i>	A	AB	B	B	B
<i>A. saccharum</i>	A	A	A	A	A
<i>F. grandiflora</i>	A	AB	AB	AB	B

El modulo de elasticidad y de ruptura fueron reducidos significativamente después de la impregnación con Sales CCA, lo cual se atribuye al bajo pH de esta, para *Acer rubrum* de 0 a 25 %, *Acer saccharum* de 4 a 21 %, *Fagus grandiflora* de 8 a 33 %, y *Quercus rubra* de 15 a 25 %.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Materiales.

4.1.1. Especies seleccionadas.

Del material existente en el Laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, se seleccionaron nueve especies de maderas debidamente identificadas tomando en cuenta que debe de haber especies ligeras, medianas y pesadas, se elaboraron 630 probetas de 2 x 2 x 10 cm (grosor x ancho x largo) para los diferentes ensayos. Las especies utilizadas fueron las siguientes:

1. *Pinus arizonica* Engelm
2. *Pinus engelmannii* Car
3. *Pinus pátula* Schl. et Cham.
4. *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.
5. *Manilkara zapota* (L.) van Royen
6. *Spondias mombin* L.
7. *Quercus insignis* Mart et Gal.
8. *Quercus laurina* Humb. et Bonpl.
9. *Quercus oleoides* Schlechtendal & Cham.

4.1.2. Preservadores utilizados.

Los preservadores que se utilizaron en los experimentos son las siguientes:

- Sales CCA tipo C al 2.5 % de concentración (base oxidos), disueltas en agua destilada, en total se utilizaron 500 gramos de sales (Osmose C-55).
- Pentaclorofenol al 5 % de concentración. Se utilizaron 15 litros.
- Creosota al 50 % de concentración, disuelta en petróleo industrial. Se utilizaron 15 litros.

4.1.3. Autoclave experimental.

Se construyo un autoclave a nivel experimental, el cuerpo de éste es de acero fundido con una capacidad de 10 litros, al cual se le colocaron: válvula de vacío y presión, manómetro y vacuómetro, así como una válvula de descarga (figura 1). Para el funcionamiento del autoclave se necesito una compresora para aplicar presión y una bomba de vacío.

4.1.4. Instrumentos de medición.

Para pesar y extraerle la humedad a las probetas para determinar el contenido de humedad y las densidades se utilizo una balanza digital con presición a 10 milésimas y un horno de laboratorio, para la determinación de la absorción solo se utilizo la balanza digital con presición a 10 milésimas y para medir la penetración se uso un vernier digital.

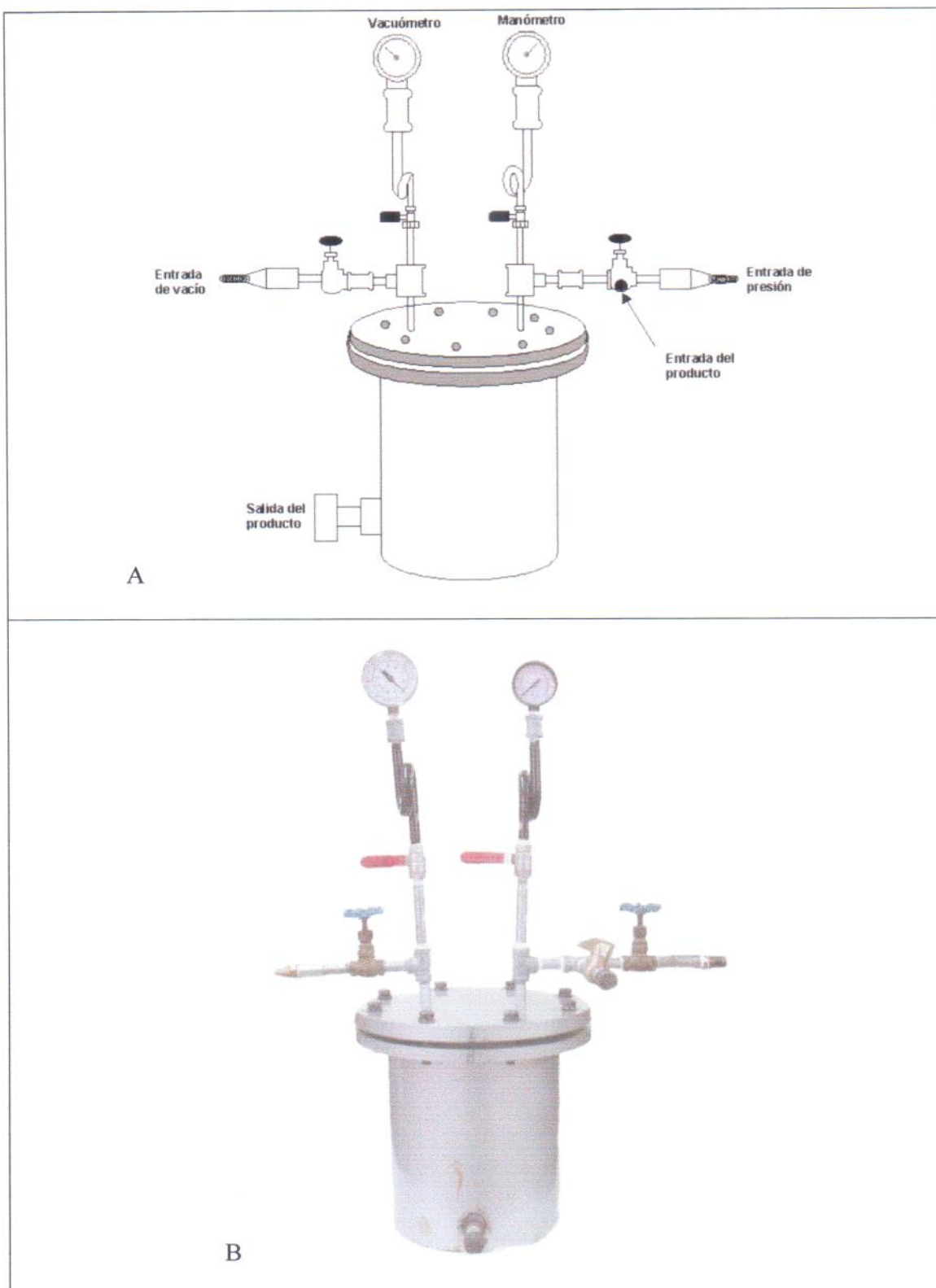


Figura 1. Autoclave experimental: A) Esquema y B) Fotografía. Diseñado por el M.C. Mario Fuentes Salinas.

4.2. Metodos.

Antes de realizar los procesos de impregnación se determinó el contenido de humedad y las densidades de las maderas utilizadas.

4.2.1. Contenido de humedad.

Utilizando 10 probetas de cada una de las especies se determinó el contenido de humedad al que se encontraba la madera de cada una de ellas para lo cual se pesaron en una balanza digital con una precisión de 10 milésimas, obteniendo el peso inicial (P_i) y después se introdujeron a la horno a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 48 horas para obtener el peso anhidro (P_o). El contenido de humedad se obtuvo aplicando la expresión:

$$CH = [(P_i - P_o) / P_o] 100 \quad (1)$$

donde:

CH = Contenido de humedad

P_i = Peso inicial

P_o = Peso anhidro

4.2.2. Densidades.

Empleando 10 probetas de cada una de las especies se determinaron: la densidad básica (D_b), la densidad verde (D_v), la densidad al 12 % (D_{12}) y la densidad anhidra (D_o); para lo

cual las probetas se pesaron al 12 % de contenido de humedad (P_{12}) así mismo se volumetrearón (V_{12}), posteriormente las probetas se saturaron en agua destilada hasta obtener un estado saturado y se obtuvo el peso verde (P_v) y el volumen verde (V_v), finalmente se metieron al horno a una temperatura de 103 ± 1 °C durante 48 horas para obtener el peso anhidro (P_o) y el volumen anhidro (V_o). Las siguientes formulas se utilizaron para calcular las diferentes densidades:

$$D_b = (P_o/V_v) \quad (2)$$

$$D_v = (P_v/V_v) \quad (3)$$

$$D_{12} = (P_{12}/V_{12}) \quad (4)$$

$$D_o = (P_o/V_o) \quad (5)$$

donde:

D_b = Densidad básica.

D_v = Densidad verde.

D_{12} = Densidad al 12 % de CH.

D_o = Densidad anhidra.

P_o = Peso anhidro.

P_v = Peso verde.

V_o = Volumen anhidro.

V_v = Volumen verde.

P_{12} = Peso al 12 % de CH.

V_{12} = Volumen al 12 % de CH.

4.2.3. Métodos de impregnación.

Los métodos utilizados para todas las especies y todos los productos fueron los procesos de impregnación a vacío-presión y el de inmersión. Se emplearon 10 probetas de cada una de

las especies por cada uno de los productos por lo que se tuvieron en total 270 probetas por proceso. Las probetas se sellaron en cabezales con tres manos de sellador para madera con un tiempo entre mano y mano de 30 minutos.

4.2.3.1. Proceso de impregnación a vacío-presión.

Este método constó de las siguientes fases, en base al método de célula llena.

- a) Se elaboró la hoja de carga, donde se anotaron las características de las especies a impregnar y el producto utilizado, el historial, las especificaciones y los resultados del tratamiento.
- b) Se pesaron cada una de las 10 probetas de cada especie obteniendo el peso inicial (P_i).
- c) Se colocaron las 10 probetas por especie dentro del autoclave, colocándole rejillas de separación entre cada especie y encima de ellas se les colocó una pesa para que no flotaran, se tapó el autoclave.
- d) Se inició la primera etapa, la cual consistió en aplicar un vacío inicial, se abrió la válvula de vacío que está conectada a la bomba de vacío y se abrió el vacuómetro (medidor de vacío) se aplicó vacío hasta alcanzar 48 cm de mercurio, se cerró la válvula y se mantuvo el vacío durante 20 minutos ver figura 2. Como una variable a determinar era la absorción entre productos, se estableció un tiempo fijo para los tres preservadores, estableciéndose este tiempo en 20 minutos considerando el espesor de las muestras.

e) Sin romper el vacío inicial, se abrió la válvula de vacío y la válvula del depósito del producto (Sales CCA al 2.5 % de concentración, ó pentaclorofenol al 5 % de concentración ó creosota al 50 % de concentración). La creosota fue el único producto que se calentó a 65 °C. Previamente finalizado el tiempo de vacío, la válvula de vacío, el vacuómetro y la válvula del producto preservante se cerró.

f) Inmediatamente después de haber llenado el autoclave, la presión en su interior se elevó abriendo la válvula de aire de la compresora, se abrió la válvula del vacuómetro (medidor de presión) y se mantuvo a 5 kg/cm² en un periodo de 30 minutos ver figura 2.

g) Tan pronto se cumplió el periodo de presión, se abrió la válvula de salida del producto del cilindro para ser recuperado en el depósito de éste y se cerró la válvula cuando se terminó de vaciar.

h) Se volvió a abrir la válvula de vacío y el vacuómetro, se aplicó un vacío final hasta alcanzar 48 cm de mercurio, se cerró la válvula y se mantuvo durante un periodo de 10 minutos ver figura 2.

i) Se desatornilló el autoclave, se extrajeron las probetas, limpiándolas del exceso del producto aplicado.

j) Finalmente se volvieron a pesar cada una de las 10 probetas de cada especie, registrándose como peso final (Pf).

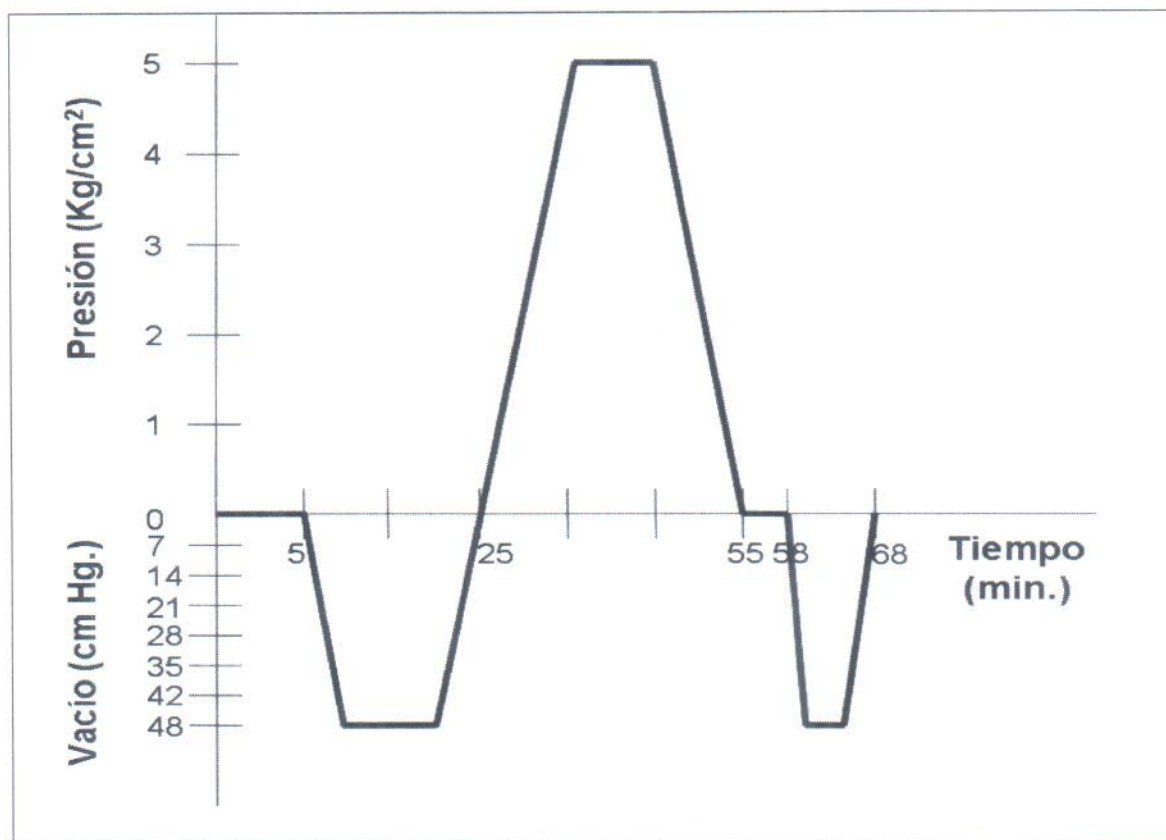


Figura 2. Grafica del proceso de impregnación a vacío-presión aplicado.

4.2.3.2. Proceso de impregnación por inmersión

Este proceso constó de las siguientes fases:

- Se pesaron cada una de las 10 probetas de cada especie, se anotó como peso inicial (P_i).
- Se colocaron las 10 probetas de cada especie en una malla con la finalidad de que no se mezclaran, se colocaron las 9 especies en una cubeta y se vertió el producto (Sales CCA al 2.5 % de concentración, ó pentaclorofenol al 5 % de concentración ó creosota al 50 % de

concentración) hasta que cubra todas las bolsas, se le colocó una malla y pesas en la superficie para que no flotarán las probetas.

c) Se dejaron sumergidas las probetas durante 12 horas y pasado ese tiempo se sacaron de cada una de las mallas, se les elimino el exceso del producto y se volvieron a pesar, obteniendo el peso a las 12 horas (P_{12}).

d) Ya pesadas se vuelven a meter en las mallas y se introdujeron en el producto, se dejan otras 12 horas y se pesaron, obteniendo el peso a las 24 horas (P_{24}).

e) Se siguió el mismo procedimiento y se obtuvieron los pesos a (P_{36}), (P_{48}), (P_{60}), (P_{72}), (P_{96}), (P_{120}), (P_{144}), (P_{168}) y (P_{192}) horas, el ultimo también se le registró como peso final (P_f).

4.2.3.3. Calculo de absorción y retención.

Para el proceso de impregnación de vacío-presión, con los pesos iniciales y finales se procedio a calcular la absorción y la retención de cada una de las probetas y el promedio por especie de cada uno de los productos. Para el proceso de impregnación por inmersión la única diferencia es que los valores intermedios se utilizaran para obtener absorción y retención en los tiempos determinados utilizando las siguientes expresiones:

$$A = [(P_f - P_i) / (V_p)] / \delta \quad (6)$$

donde:

A = Absorción (l/m³)
Pf = Peso final, en kg
Pi = Peso inicial, en kg
Vp = Volumen de la probeta en m³
 δ = Densidad del preservador (kg/l)

$$R = (A * C)/100 \quad (7)$$

donde:

R = retención (kg/m³)
A = absorción (l/m³)
C = concentración de la solución impregnante (para el caso de sales CCA es base óxidos, para PCP fue del 5 % y para creosote se considero al 100 % de la solución).

4.2.3.4. Determinación de la penetración.

Una vez determinada la absorción y la retención de cada una de las probetas, estas fueron cortadas a la mitad (5 cm de longitud) y se les aplicó una solución indicadora en el corte transversal: para sales CCA se usó cromo azurol (Anexo 2), para PCP se utilizó acetato cúprico (Anexo 3), y para la creosota se hizo la determinación directamente. Después en cada uno de los lados de la probeta, se marcaron 4 cuadrantes (zonas) que van de la cara hasta el centro. Para esto se tomó un vernier digital y se midió en cada una de las zonas, desde la cara hasta donde la solución indicadora penetró en la probeta, generando por ultimo el promedio de penetración de las cuatro zonas por probetas y el promedio de penetración de las 10 probetas por especie como se muestra en la figura 3.

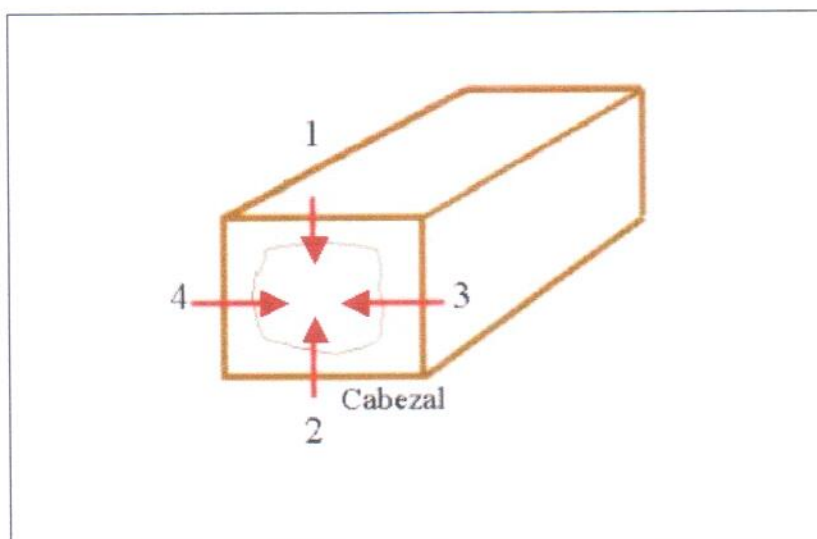


Figura 3. Ejemplo de medición de la penetración en el corte transversal.

Con los valores promedios obtenidos de absorción, retención y penetración de cada especie y con las tablas del Anexo 1 se determinarán los valores de permeabilidad de cada una de las especies

4.2.3.5. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico de la información se aplicaron técnicas univariadas. Para probar la hipótesis de la existencia de efecto de tratamiento sobre la variable respuesta, se realizó una comparación de medias de tratamientos a través de la prueba de t, con el propósito de determinar si existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados. Al mismo tiempo, se obtuvo el análisis de varianza para un diseño completamente al azar, definido por el experimento.

El modelo del diseño completamente al azar esta dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{matrix} \quad (8)$$

donde:

Y_{ij} : es la respuesta del i-esimo tratamiento en la j-esima repetición.

μ : media general.

τ_i : efecto del i-esimo tratamiento.

ϵ_{ij} : error aleatorio, donde $\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

En la comparación de medias de tratamientos, lo que intereza es comparar todas las parejas de medias de tratamientos. Es decir, la hipótesis nula que se desea probar es $H_0: \mu_i = \mu_j$ para todo $i \neq j$. A continuación, se presenta el método para realizar estas comparaciones, a través de la prueba de t, que también es conocida como método de la mínima diferencia significativa.

Método de la Mínima Diferencia Significativa (LSD, del inglés least significant difference).

Supongamos que después de haber rechazado la hipótesis nula, con base en una prueba F de análisis de varianza, se desea probar $H_0: \mu_i = \mu_j$ para toda $i \neq j$. Esto se puede hacer empleando la estadística t.

$$t_o = \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_j}{\sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}} \quad (9)$$

Suponiendo la hipótesis alternativa como: $H_1: \mu_i \neq \mu_j$. Entonces, se consideran diferentes si:

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > LSD$$

donde:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (10)$$

se denomina mínima diferencia significativa. Si el diseño es balanceado, entonces $n_1 = n_2 = \dots = n_a = n$ y por lo tanto,

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{MS_E}{n}} \quad (11)$$

Para usar el procedimiento de la LSD, simplemente se compararon las diferencias observadas entre cada par de medias con el valor correspondiente de la LSD. Si

$$|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > LSD, \text{ se concluye que las medias poblacionales } \mu_i \text{ y } \mu_j \text{ son diferentes.}$$

Finalmente, se aplicó un modelo logaritmico para determinar el grado o nivel de absorción a través del tiempo por el método de inmersión en las diferentes especies con el propósito de predecir el tiempo necesario para alcanzar una absorción dada, basada en la requerida para los diferentes niveles de riesgo considerando una concentración fija, por ejemplo, de 2.5 % para el caso de las sales CCA.

El modelo logaritmico esta definido por:

$$y_i = \beta_1 \ln(t_i) + \beta_0 + e_i \quad (12)$$

donde:

y_i = variable respuesta.

t_i = variable independiente.

β_0, β_1 = parámetros.

e_i = error aleatorio, $e_i \sim N(0, \sigma^2)$.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Propiedades físicas de las maderas en estudio.

En lo que respecta al contenido de humedad, el porciento de espacios vacíos, la densidad básica, la densidad verde, la densidad al 12 % de CH y la densidad anhidra de las nueve especies, se obtuvieron los valores que se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Contenido de humedad, porciento de espacios vacíos y densidades de las especies estudiadas.

Especie	Variable					
	CH (%)	Espacios Vacíos (%)	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Verde (g/cm ³)	Densidad Normal (g/cm ³)	Densidad Anhidra (g/cm ³)
<i>Pinus arizonica</i>	9.327	72.48	0.361	0.972	0.446	0.421
<i>Pinus engelmanni</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 mombin</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

El estudio se llevo acabo a contenidos de humedad con una diferencia entre especies de ± 2 % de contenido de humedad, la especie que presento mayor contenido de humedad fue la *Ceiba pentandra* y la especie que presento menor humedad fue *Spondias mombin*. Así mismo se encontró que la especie que presento mayor porcentaje de espacios vacíos fue *Ceiba pentandra* y la que presento menos fue *Manilkara zapota*.

Con relación a la densidad básica determinada se tiene que según el sistema de clasificación de Vignote y Jiménez (1996) se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Clasificación de la densidad básica según Vignote y Jiménez (1996).

Espece	Densidad Básica (g/cm ³)	Clasificación
<i>Pinus arizonica</i>	0.361	Muy ligera
<i>Pinus engelmanni</i>	0.364	Muy ligera
<i>Pinus patula</i>	0.491	Ligera
<i>Ceiba pentandra</i>	0.269	Muy ligera
<i>Manilkara zapota</i>	0.913	Pesada
<i>Spondias mombin</i>	0.358	Ligera
<i>Quercus insignis</i>	0.742	Semipesada
<i>Quercus laurina</i>	0.686	Semipesada
<i>Quercus oleoides</i>	0.788	Pesada

En lo que respecta a la densidad básica se tiene que hay tres especies clasificadas como muy ligeras, dos especies fueron clasificadas como ligeras, otras dos especies se clasificaron como semipesadas y finalmente dos especies se clasificaron como pesadas.

5.2. Absorción, retención y penetración a vacío-presión e inmersión total.

5.2.1. Absorción, retención y penetración a vacío-presión.

5.2.1.1. Absorción, retención y penetración en sales CCA.

En el cuadro 11 se presentan los resultados de absorción, retención y la clasificación de la absorción, obtenidos en la impregnación a vacío-presión con la aplicación de sales CCA.

Cuadro 11. Resultados de la absorción y retención a vacío-presión con sales CCA.

Especie	Absorción. (l/m ³)	Retención. (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983)
<i>Pinus arizonica</i>	578.10	14.45	Fácil de impregnar
<i>Pinus engelmanni</i>	548.85	13.75	Fácil de impregnar
<i>Pinus patula</i>	550.73	13.77	Fácil de impregnar
<i>Ceiba pentandra</i>	634.73	15.87	Fácil de impregnar
<i>Manilkara zapota</i>	16.35	0.41	Difícil de impregnar
<i>Spondias mombin</i>	560.75	14.02	Fácil de impregnar
<i>Quercus insignis</i>	21.83	0.55	Difícil de impregnar
<i>Quercus laurina</i>	31.23	0.78	Difícil de impregnar
<i>Quercus oleoides</i>	152.78	3.82	Impregnable

Esta clasificación indica que cinco de las especies son fáciles de impregnar, entre las cuales se encuentra *Spondias mombin* esto es contradictorio con lo expresado por Maturbongs *et al* (1996), una de las especies es impregnable y tres difíciles de impregnar, correspondiendo dos de ellas a los encinos (*Q. insignis* y *Q. laurina*) y la otra el chicozapote (*Manilkara zapota*), si se considera la densidad básica se puede decir que las maderas con media y alta densidad básica son difíciles de impregnar.

El comportamiento de la madera de *Manilkara zapota* este se puede deber a los contenidos celulares presentes, en los vasos, así como al tamaño de los diámetros ya que estos son los más pequeños con respecto a las otras especies estudiadas, los encinos también presentan contenidos celulares, pero los diámetros de los vasos son los más grandes (Machuca *et al* 1999, Aguilar 1996, Kukachka 1968) lo anterior coincide con Wang *et al.* (1996) donde mencionan que los vasos son los mayores conductores, pero cuando están obstruidos la distribución se lleva a cabo mediante los rayos, pero en el caso de la madera de *Manilkara zapota* también los rayos están llenos de gomas. Probablemente sería necesario realizar estudios para conocer como se distribuye el preservador a nivel ultra estructura. Zahora *et*

al. (1989) menciona que la micro distribución de las sales CCA en la madera se da primeramente en la lignina.

En el cuadro 12 se muestra la clasificación de la penetración respecto a la impregnación a vacío-presión con sales CCA.

Cuadro 12. Clasificación de la penetración a vacío-presión con sales CCA.

Especie	Penetración (mm).	Penetración (%).	Clasificación según Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	10.00	100.0	Permeable
<i>Pinus engelmanni</i>	10.00	100.0	Permeable
<i>Pinus patula</i>	10.00	100.0	Permeable
<i>Ceiba pentandra</i>	1.99	20.0	Resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	10.00	100.0	Permeable
<i>Quercus insignis</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus laurina</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente

* no se detecto penetración visible.

Se puede observar que cuatro especies son permeables y una es resistente, y en las especies *M. zapota* y los encinos no se pudo apreciar por pruebas de colorimetría la parte penetrada con respecto la parte no impregnada por lo que no se tiene valor de penetración, pero su clasificación fue extremadamente resistente. La distribución microscópica del preservador puede ser importante para clasificación de impregnación de la madera

La clasificación de Deón (1989), coincide con lo reportado en este estudio para *Pinus patula* como una madera permeable, se puede deber a la estructura anatómica, los pinos aunque presenten resinas como contenidos celulares, ésta solamente se encuentra en los canales resiníferos. Con respecto a *Manilkara zapota* que se clasificó como poco o

impermeable esto puede atribuirse a que presenta bastantes gomas en los elementos de vaso, en el parénquima axial, en los rayos y las paredes de las fibras que son gruesas (Kribs 1968, Huerta *et al.* 1982, Morales *et al.* 1987).

Así mismo la figura 4 muestra las imágenes de penetración de las 10 maderas de cada una de las especies estudiadas, según la prueba de cromo-azurol. En la figura 5 se observa que la madera que absorbió mayor cantidad de preservador fue la madera de *Ceiba pentandra*, en la figura 6 se puede notar que las tres maderas del genero *Pinus* y la madera de *Spondias mombin* presentan niveles similares de penetración.

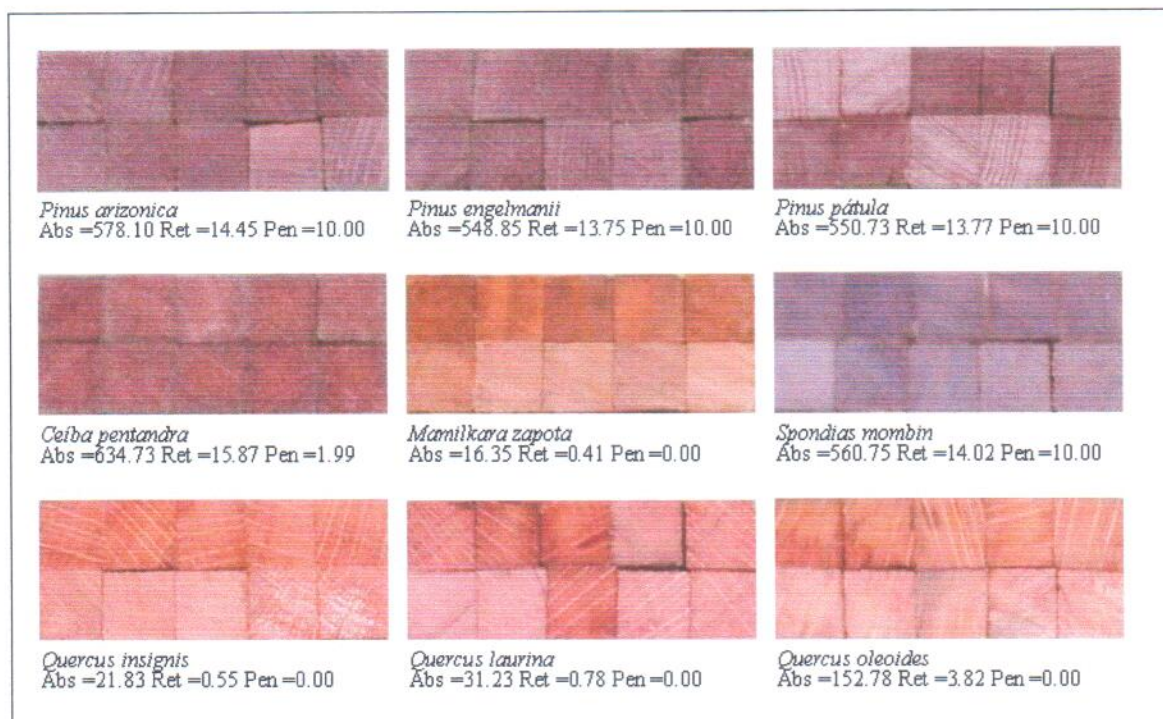


Figura 4. Imágenes de la penetración de las Sales CCA a vacío-presión en las 9 especies.
(Abs = Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

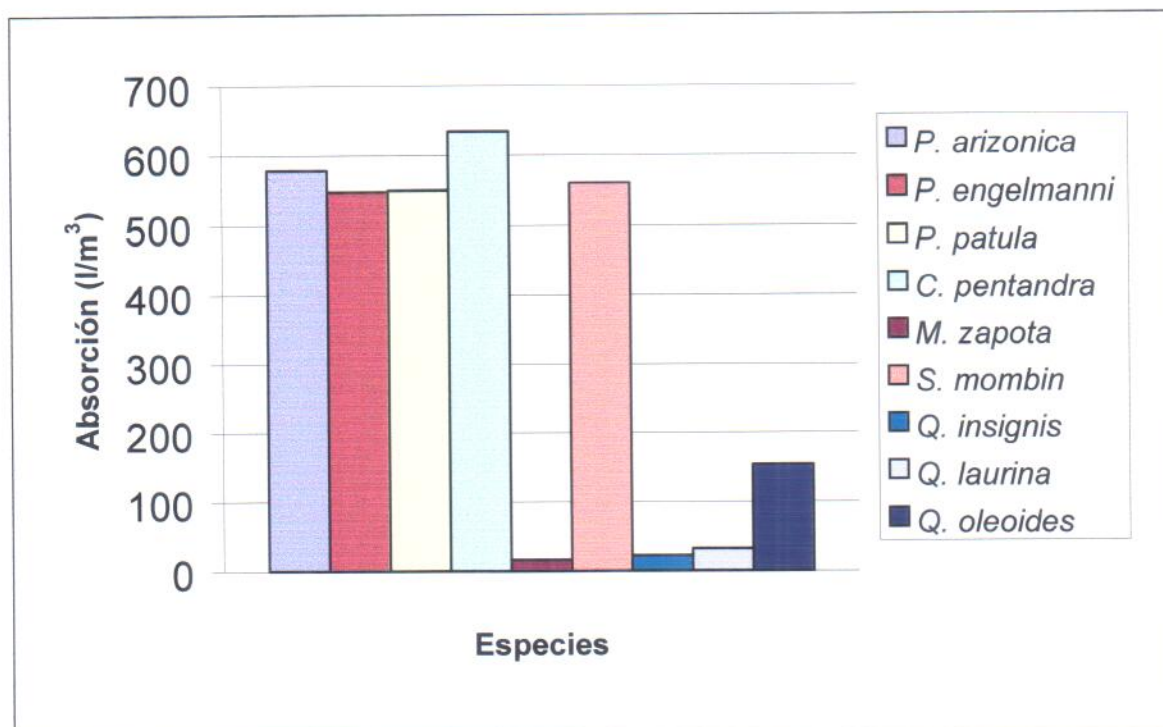


Figura 5. Absorción de sales CCA en las especies a vacío-presión.

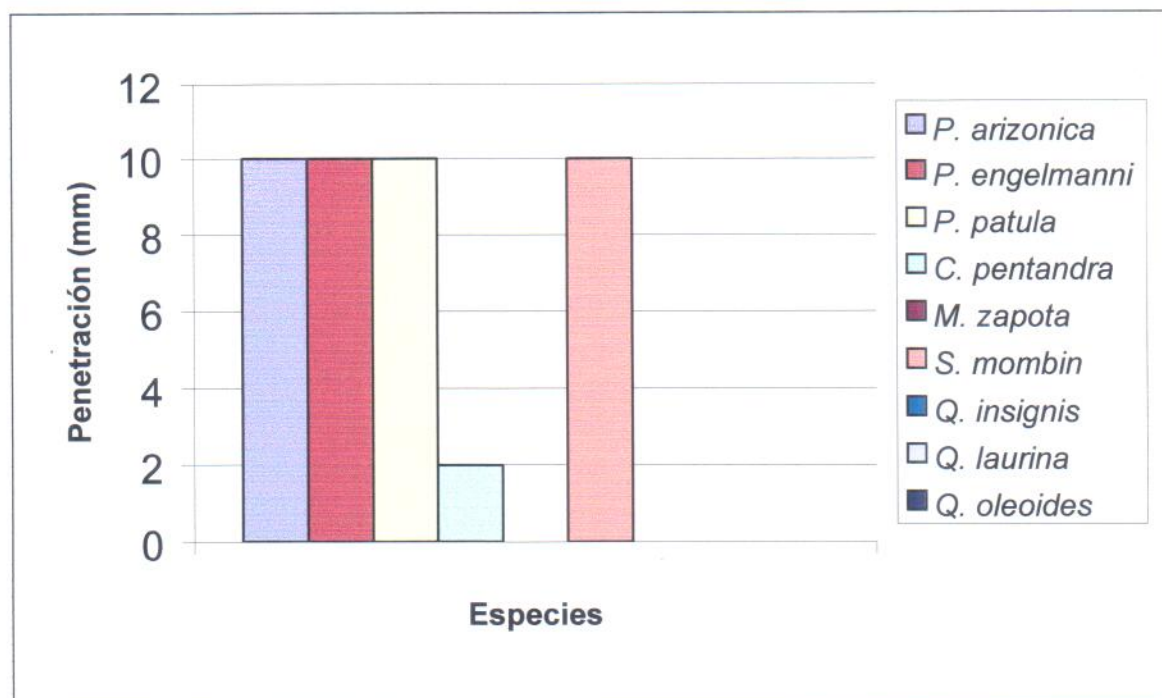


Figura 6. Penetración de sales CCA en las especies a vacío-presión.

5.2.1.2 Absorción, retención y penetración en pentaclorofenol, (PCP).

En el cuadro 13 se observa que las maderas de los pinos son más fáciles de impregnar con relación a las otras especies estudiadas.

Cuadro 13. Resultados de la absorción y retención de PCP a vacío-presión.

Especie	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	516.50	25.83	Fácil de impregnar
<i>Pinus engelmanni</i>	519.98	26.00	Fácil de impregnar
<i>Pinus patula</i>	441.45	22.07	Fácil de impregnar
<i>Ceiba pentandra</i>	137.93	6.90	Impregnable
<i>Manilkara zapota</i>	6.40	0.32	Difícil de impregnar
<i>Spondias mombin</i>	174.55	8.73	Impregnable
<i>Quercus insignis</i>	19.80	0.99	Difícil de impregnar
<i>Quercus laurina</i>	17.85	0.89	Difícil de impregnar
<i>Quercus oleoides</i>	19.33	0.97	Difícil de impregnar

Lo cual puede deberse a que los contenidos celulares se localizan por lo general solo en los canales resiníferos y que todos los elementos axiales de estas maderas son traqueidas que presentan puntuaciones areoladas y funcionan como elementos conductores, a diferencia de las latifoliadas que solo los vasos son elementos conductores, mas no así las fibras y parénquima, que representa un mayor porcentaje de elementos; sin embargo la madera de ceiba y de jobo se consideran como maderas impregnables, estas especies presentan tilosis en los elementos de vaso y presencia de gomas en el parénquima, estas obstrucciones de los espacios vacíos hace que la absorción del preservador sea menor que en los pinos. Al comparar las retenciones que reporta Behr (1969) para pino amarillo que fue de 94.54 kg/m³, la madera de los pinos de este estudio solo retuvo la cuarta parte, se puede decir que la variabilidad de la madera es un factor importante ya que aunque sean los mismos géneros su comportamiento a nivel especie es diferente.

En el cuadro 14 se puede observar que la clasificación de las especies de las coníferas como maderas permeables, es similar a la clasificación de Deón (1989), esta también es similar para la madera de *Manilkara zapota*, pero totalmente contraria para la madera de *Ceiba pentandra*. La absorción y penetración de las maderas estudiadas puede compararse con los estudios de Behr *et al.* (1969) donde a nivel microscópico se observa que en la madera de los pinos la mayoría de los lúmenes fueron llenados.

Cuadro 14. Clasificación de la penetración de PCP a vacío-presión.

Especie	Penetración (mm)	Penetración (%)	Clasificación según Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Pinus engelmanni</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Pinus patula</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Ceiba pentandra</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus insignis</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus laurina</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente

* no se detecto penetración visible.

En la figura 7 se presentan las imágenes de las 10 maderas estudiadas donde se observa la penetración, en la figura 8 se muestra gráficamente que las maderas con mayor cantidad de preservador fueron *Pinus arizonica* y *P. engelmanni*, así mismo y en la figura 9 se aprecia que en las tres especies de pinos se detecta la penetración del preservador, no se detecto en *Spondias* y *Ceiba* aunque si registraron absorción significativa como para detectar su presencia.

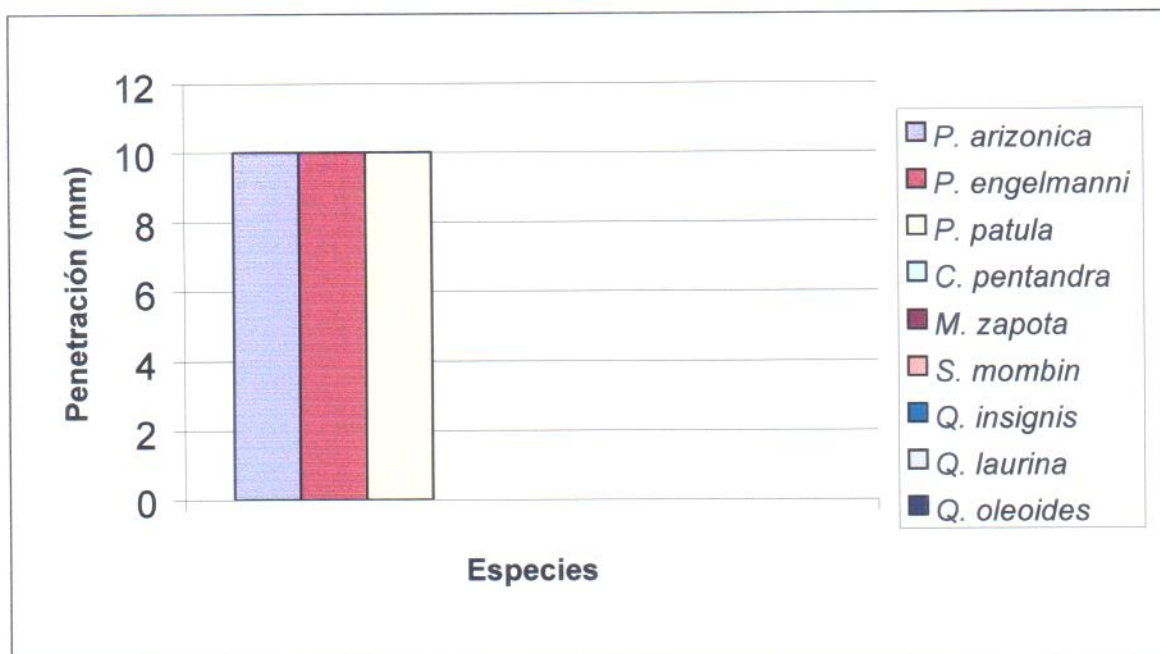


Figura 9. Penetración de PCP en las especies a vacío-presión.

5.2.1.3 Absorción, retención y penetración en creosota.

Al igual que con las sales CCA y el pentaclorofenol los pinos resultaron ser fáciles de impregnar ver cuadro 15, se puede explicar por las características anatómicas entre las que se encuentran las puntuaciones y los contenidos celulares, las primeras ayudan al flujo del preservador y las segundas lo limitan. El *Quercus oleoides* a pesar de presentar contenidos celulares como la tilosis resulto impregnable, lo cual puede deberse a que presenta un mayor número de vasos y rayos por mm^2 en comparación con los otros dos encinos.

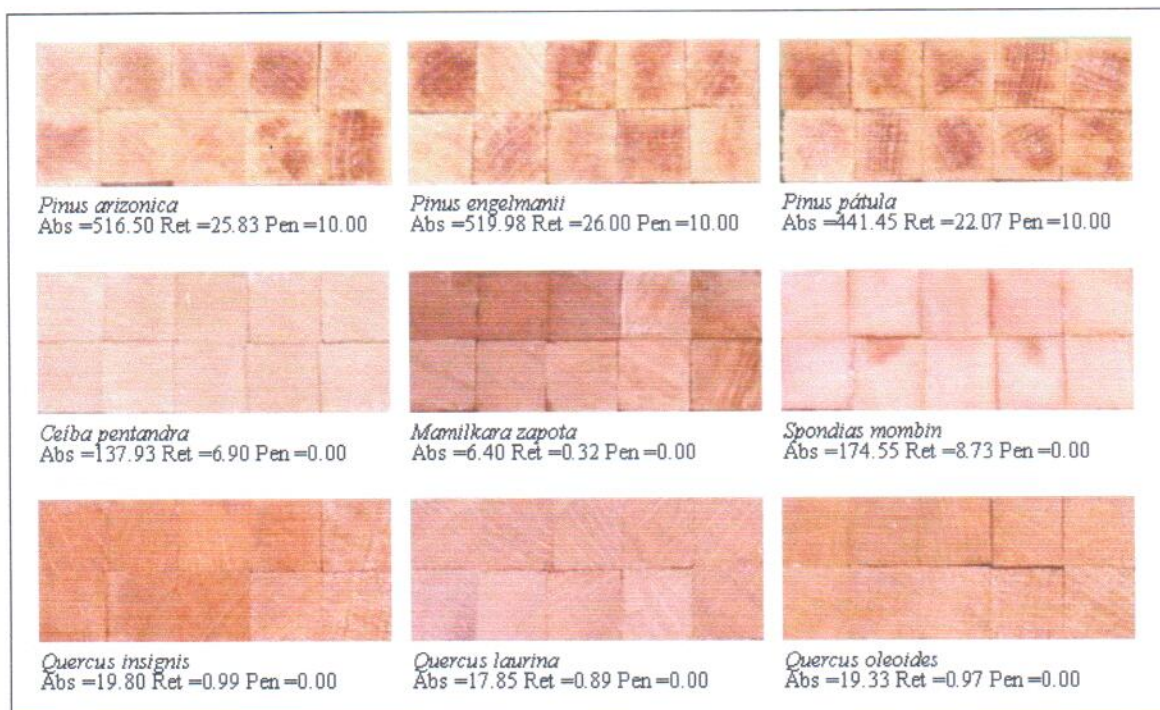


Figura 7. Imágenes de la penetración de PCP con el método colorimétrico de acetato cuprico en las 9 especies. (Abs = Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

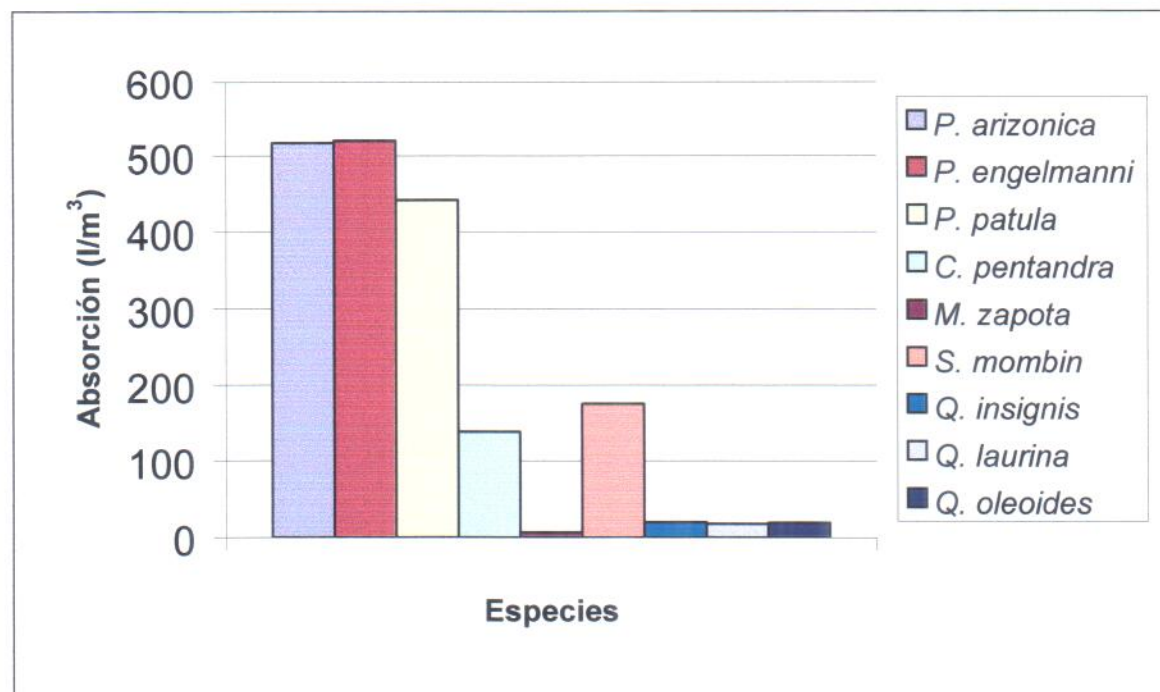


Figura 8. Absorción de PCP en las especies a vacío-presión.

Cuadro 15. Resultados de la absorción y retención con creosota a vacío -presión.

Especie	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	587.60	587.60	Fácil de Impregnar
<i>Pinus engelmanni</i>	542.55	542.55	Fácil de Impregnar
<i>Pinus patula</i>	470.43	470.43	Fácil de Impregnar
<i>Ceiba pentandra</i>	156.08	156.08	Impregnable
<i>Manilkara zapota</i>	17.55	17.55	Difícil de Impregnar
<i>Spondias mombin</i>	222.95	222.95	Impregnable
<i>Quercus insignis</i>	21.33	21.33	Difícil de Impregnar
<i>Quercus laurina</i>	24.33	24.33	Difícil de Impregnar
<i>Quercus oleoides</i>	155.03	155.03	Impregnable

En el cuadro 16 se presenta la penetración alcanzada y su clasificación. La clasificación de Deón, (1989) para *Pinus patula* y *Manilkara zapota* es similar a la de este estudio, pero contraria para *Ceiba pentandra* ya que este autor la reporta como permeable. Para este caso los encinos resultaron resistentes en los otros dos productos no se detecto penetración esto se puede deber según Behr *et al.* (1969), a que las maderas con tilosis, las fibras son permeables por medio de las puntuaciones convirtiéndose en importantes hospederas de preservador, asimismo los rayos angostos se pueden encontrar con preservador el cual pasa hacia las fibras por medio de las puntuaciones.

Cuadro 16. Clasificación de la penetración de la creosota a vacío presión.

Especie	Penetración (mm)	Penetración (%)	Clasificación Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Pinus engelmanni</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Pinus patula</i>	10.0	100.0	Permeable
<i>Ceiba pentandra</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	0.0*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus insignis</i>	1.8	20.0	Resistente
<i>Quercus laurina</i>	2.7	30.0	Resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.5	10.0	Resistente

* no se detecto penetración visible

En la figura 10 se pueden observar las imágenes que muestran la penetración de las 10 maderas estudiadas, en la figura 11 se ve que la madera de *Pinus arizonica* fue la que absorbió mayor cantidad de preservador y en la figura 12 se nota que las tres especies de *Pinus* son las que presentaron mayor penetración.



Figura 10. Imágenes de la penetración de la creosota a vacío-presión en las 9 especies.
(Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

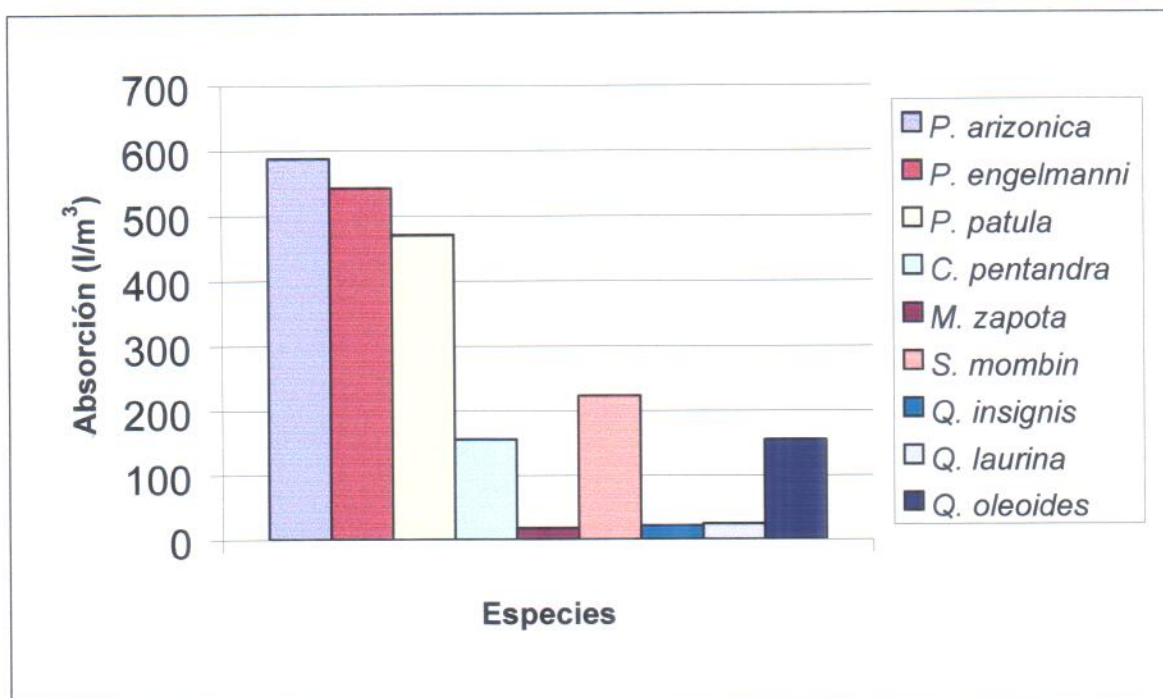


Figura 11. Absorción de la creosota en las especies a vacío-presión.

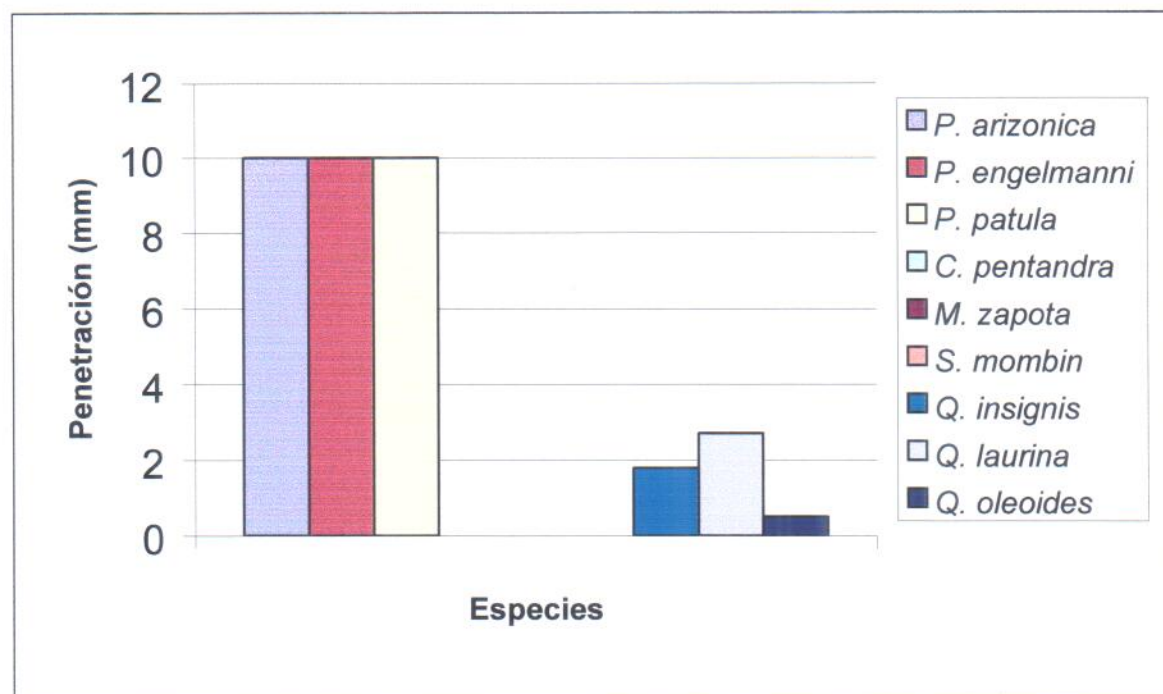


Figura 12. Penetración de la creosota en las especies a vacío-presión.

En la figura 13 se observa una comparación de la absorción lograda por las maderas para cada uno de los tres productos utilizados en este estudio, siendo las sales CCA las que fueron absorbidas en mayor cantidad en las 10 maderas estudiadas, lo cual puede deberse a la viscosidad del preservador.

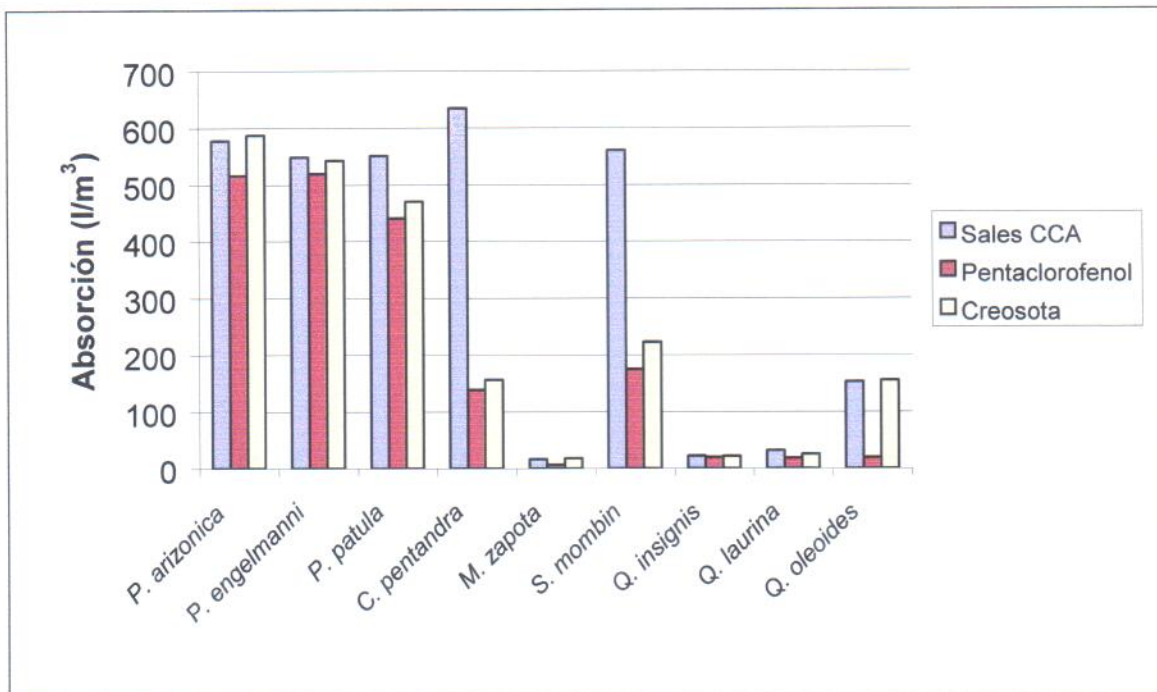


Figura 13. Absorción de sales CCA, pentaclorofenol y creosota en las especies a vacío-presión.

5.2.2. Absorción, retención y penetración a inmersión total.

5.2.2.1 Absorción, retención y penetración por inmersión en sales CCA.

En el cuadro No.17 se observa que entre las maderas fáciles de impregnar se encuentra el *Pinus patula* la diferencia con las otras especies de *Pinus* puede deber al número de canales

resiníferos tanto horizontales como verticales, así como el efecto del paso de madera temprana a tardía el cual puede ser variable según Flynn, (1994).

Cuadro 17. Absorción y retención con sales CCA a inmersión total.

Especie	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	206.83	5.17	Impregnable
<i>Pinus engelmanni</i>	236.53	5.96	Impregnable
<i>Pinus patula</i>	267.75	6.69	Fácil de impregnar
<i>Ceiba pentandra</i>	458.53	11.46	Fácil de impregnar
<i>Manilkara zapota</i>	176.38	4.41	Impregnable
<i>Spondias mombin</i>	174.20	4.36	Impregnable
<i>Quercus insignis</i>	150.95	3.77	Impregnable
<i>Quercus laurina</i>	157.30	3.93	Impregnable
<i>Quercus oleoides</i>	259.68	6.49	Fácil de impregnar

En cuanto a *Ceiba pentandra* puede ser por el diámetro de los vasos y el diámetro de los lúmenes de las fibras, en *Quercus oleoides* por el número de vasos por mm². Con relación a las maderas impregnables como *Pinus arizonica* y *Pinus engelmanni* esta clasificación puede deberse a los contenidos celulares como las resinas, en *Manilkara zapota* al gran contenido de gomas y aceites (Huerta *et al.* 1982, Morales *et al.* 1987), en *Spondias mombin* a los contenidos celulares (Morales *et al.* 1987, Corothie 1967) y *Quercus insignis* y *Quercus laurina* a la tilosis presente en los vasos.

La clasificación en el cuadro 18 muestra que la madera de coníferas y la *Ceiba* no es similar a la de Deón (1989), pero si con *Manilkara zapota*, esto se puede deber a que el preservador pasa primero por los espacios vacíos y posteriormente por un proceso de difusión por medio de las puntuaciones, por lo que al final del tiempo establecido, el preservador no alcanza a penetrar de célula a célula como menciona (Behr, 1969).

Cuadro 18. Clasificación de la penetración de sales CCA a inmersión total.

Especie	Penetración (mm)	Penetración (%)	Clasificación Pérez, (1983)
<i>Pinus arizonica</i>	2.60	26.0	Resistente
<i>Pinus engelmanni</i>	2.44	24.0	Resistente
<i>Pinus patula</i>	2.09	20.0	Resistente
<i>Ceiba pentandra</i>	3.34	34.0	Resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	1.15	10.0	Resistente
<i>Quercus insignis</i>	0.00*	0.0*	Extremadamente resistente
<i>Quercus laurina</i>	0.42	5.0	Extremadamente resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.37	4.0	Extremadamente resistente

*no se detecto penetración visible

En la figura 14 se observan las imágenes que muestran la penetración de las 10 maderas estudiadas, así mismo en la figura 15 se ve que la madera de *Pinus patula* fue la que absorbió la mayor cantidad de preservador y en la figura 16 la *Ceiba pentandra* presenta mayor penetración.

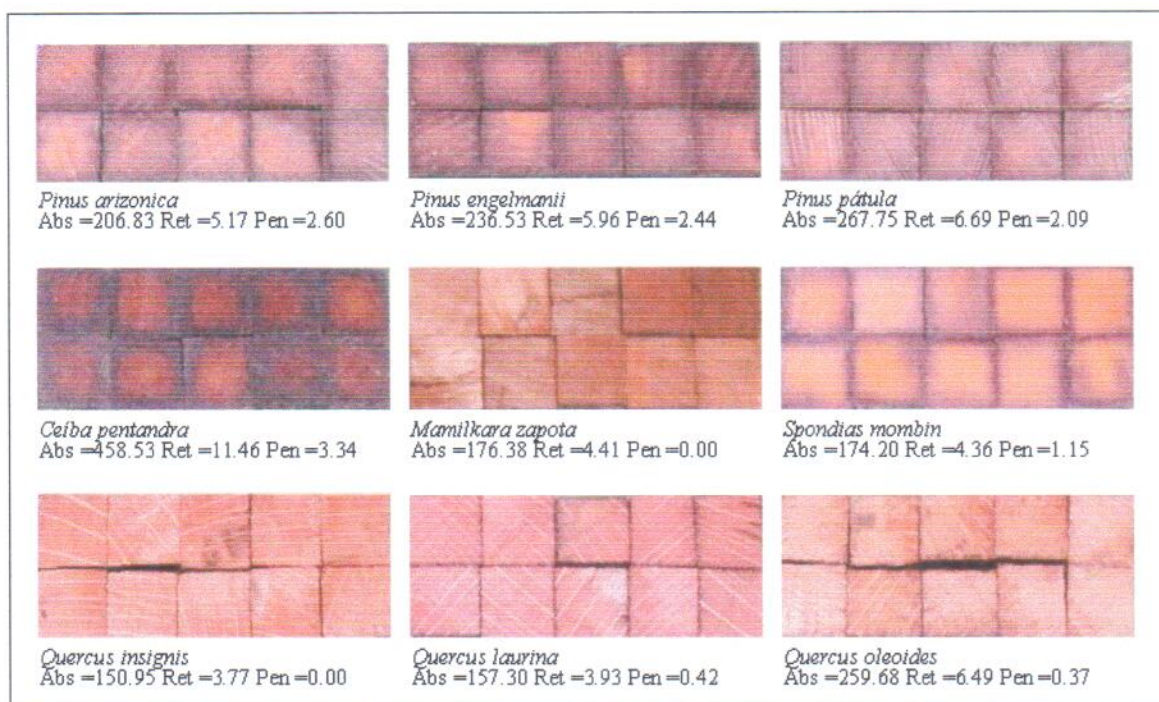


Figura 14. Imágenes de penetración de las 9 especies con sales CCA a inmersión total.
(Abs = Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

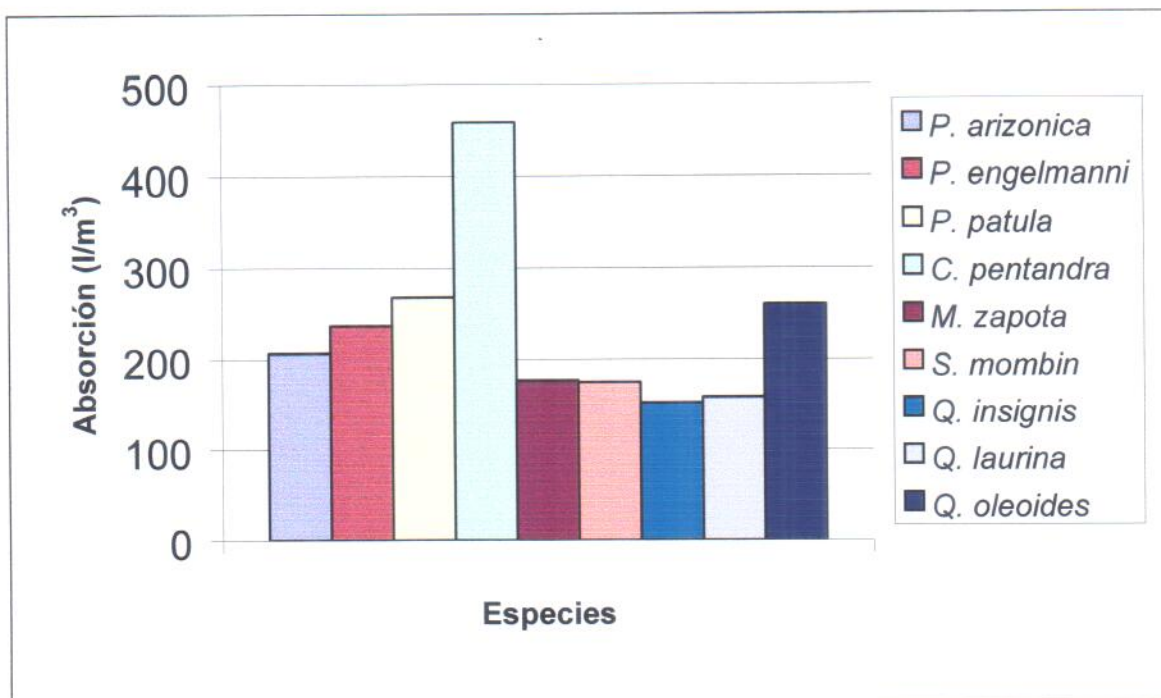


Figura 15. Absorción de las sales CCA en cada una de las especies a inmersión total.

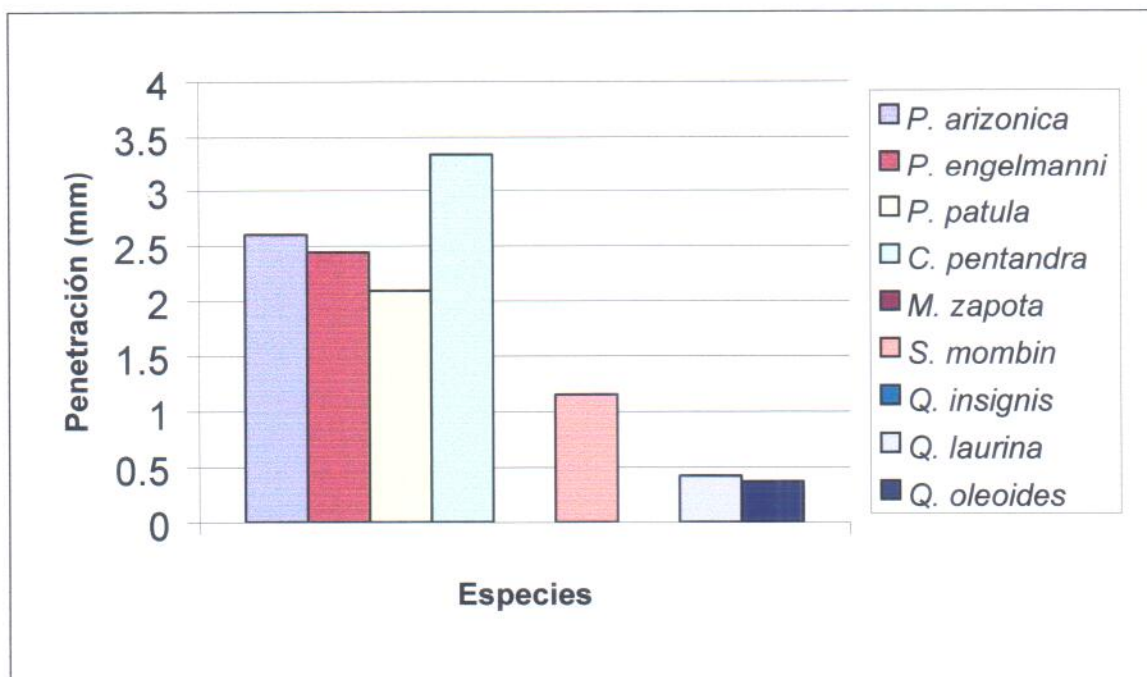


Figura 16. Penetración de cada una de las especies con sales CCA a inmersión total.

5.2.2.2. Absorción, retención y penetración por inmersión en pentaclorofenol (PCP).

En el cuadro 19 se muestra la absorción y retención. Para este caso se clasificaron como impregnables a las maderas de los pinos y a la de ceiba esto se puede deber a los contenidos celulares y a la composición química de los productos y en el caso de la ceiba el diámetro de los vasos y el porcentaje de espacios vacíos que es del 80 %. Las demás especies fueron consideradas como difíciles de impregnar.

Cuadro 19. Absorción y retención con PCP a inmersión total.

Especie	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983).
<i>Pinus arizonica</i>	126.08	6.33	Impregnable
<i>Pinus engelmanni</i>	113.40	5.67	Impregnable
<i>Pinus patula</i>	107.25	5.36	Impregnable
<i>Ceiba pentandra</i>	127.75	6.39	Impregnable
<i>Manilkara zapota</i>	18.78	0.94	Difícil de impregnar
<i>Spondias mombin</i>	75.18	3.76	Difícil de impregnar
<i>Quercus insignis</i>	22.90	1.15	Difícil de impregnar
<i>Quercus laurina</i>	37.38	1.87	Difícil de impregnar
<i>Quercus oleoides</i>	81.70	4.09	Difícil de impregnar

La clasificación en el cuadro 20 muestra que todas las especies no presentaron penetración.

Cuadro 20. Clasificación de la penetración de PCP a inmersión total.

Especie	Penetración (mm)	Penetración (%)	Clasificación Pérez, (1983)
<i>Pinus arizonica</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Pinus engelmanni</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Pinus patula</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Ceiba pentandra</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus insignis</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus laurina</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.00	0.00*	Extremadamente resistente

*no se detecto penetración visible

En la figura 17 se observa las imágenes que muestran la penetración de las 10 maderas estudiadas, en la figura 18 se nota que el *Pinus arizonica* y la *Ceiba pentandra* son las que absorbieron mayor cantidad de preservador.

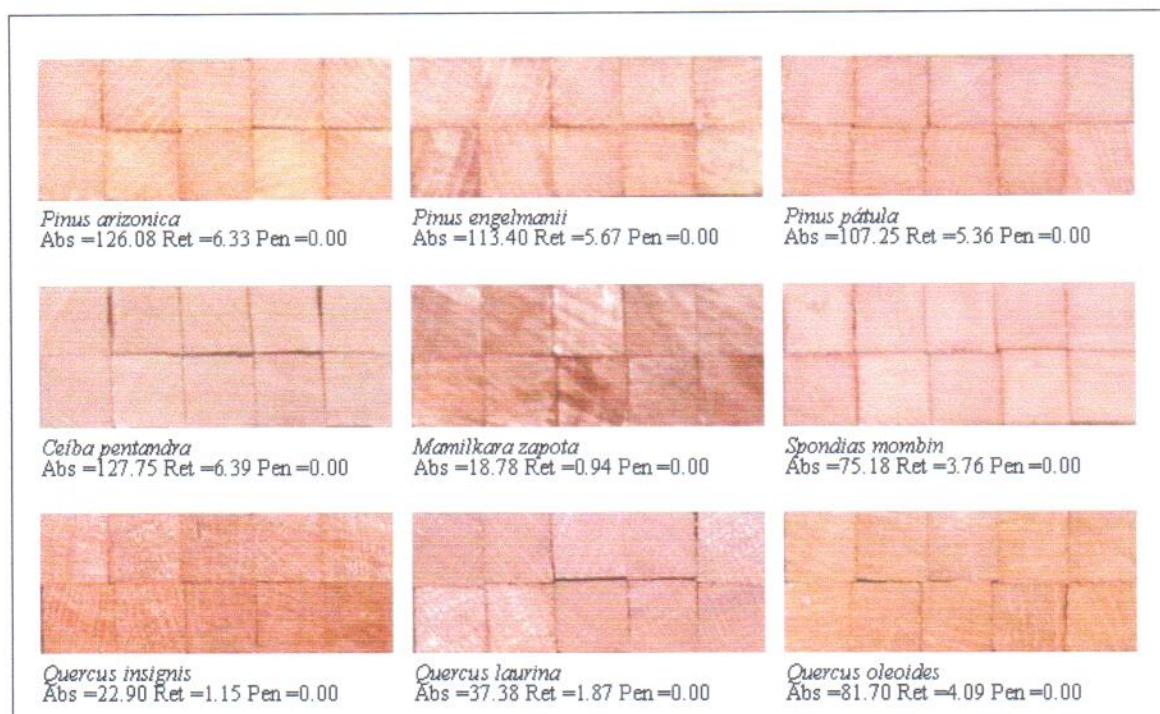


Figura 17. Imágenes de penetración de PCP en las 9 especies a inmersión total.
 (Abs = Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

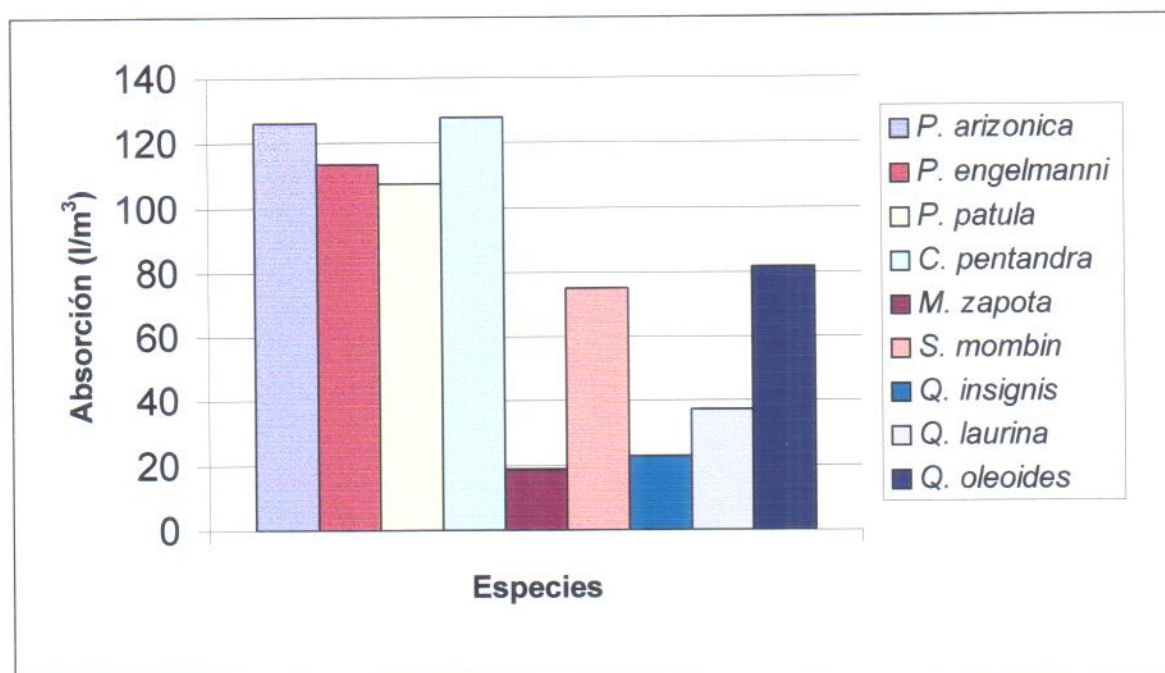


Figura 18. Absorción de PCP en cada una de las especies a inmersión total.

5.2.2.3 Absorción, retención y penetración a inmersión en creosota.

En el cuadro No. 21 se presenta la absorción y retención de la creosota en las maderas.

Cuadro 21. Absorción y retención con creosota a inmersión total.

Especie	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Clasificación Pérez, (1983)
<i>Pinus arizonica</i>	158.88	158.88	Impregnable
<i>Pinus engelmanni</i>	156.00	156.00	Impregnable
<i>Pinus patula</i>	148.40	148.40	Impregnable
<i>Ceiba pentandra</i>	151.90	151.90	Impregnable
<i>Manilkara zapota</i>	45.80	45.80	Difícil de impregnar
<i>Spondias mombin</i>	109.43	109.43	Difícil de impregnar
<i>Quercus insignis</i>	42.28	42.28	Difícil de impregnar
<i>Quercus laurina</i>	44.90	44.90	Difícil de impregnar
<i>Quercus oleoides</i>	118.85	118.85	Difícil de impregnar

La clasificación resultó igual a la aplicada para las sales CCA y se puede deber, en el caso de las confieras, a los contenidos celulares y al diámetro de las traqueidas; en el caso de ceiba al diámetro de los vasos y a las otras especies igualmente se puede deber a la gran cantidad de contenidos celulares y al porcentaje de espacios vacíos a excepción del jobo que tiene un 73 %, los contenidos celulares se puede decir que son determinantes.

En el cuadro 22 se presenta la clasificación de la penetración de la creosota en las maderas, aunque algunas especies si presentaron absorción no se logro apreciar en la penetración.

Cuadro 22. Clasificación de la penetración de la creosota a inmersión total.

Especie	Penetración (mm)	Penetración (%)	Clasificación Pérez, (1983)
<i>Pinus arizonica</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Pinus engelmanni</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Pinus patula</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Ceiba pentandra</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Manilkara zapota</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Spondias mombin</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus insignis</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus laurina</i>	0.79	8.00*	Extremadamente resistente
<i>Quercus oleoides</i>	0.00*	0.00*	Extremadamente resistente

*no se detecto penetración visible

En la figura 19 se pueden observar las imágenes que muestran la penetración de las 10 maderas estudiadas, en la figura 20 se ve que la madera de *Pinus arizonica* fue la que absorbió mayor cantidad de preservador.

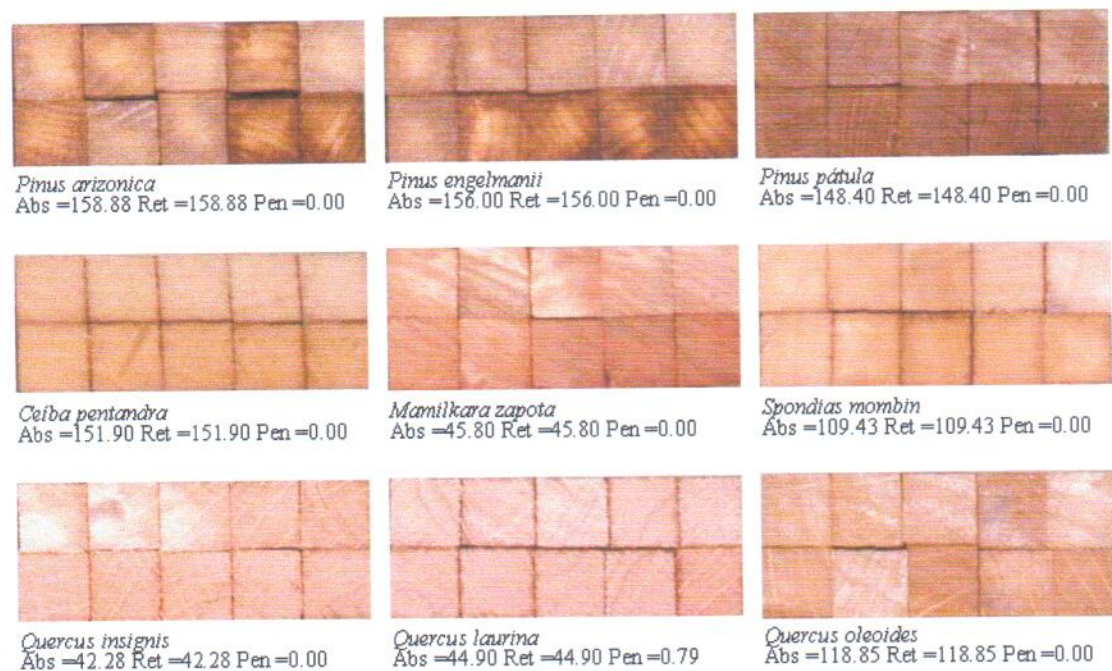


Figura 19. Imágenes de penetración en las 9 especies con creosota a inmersión total.
(Abs = Absorción, Ret = Retención, Pen = Penetración).

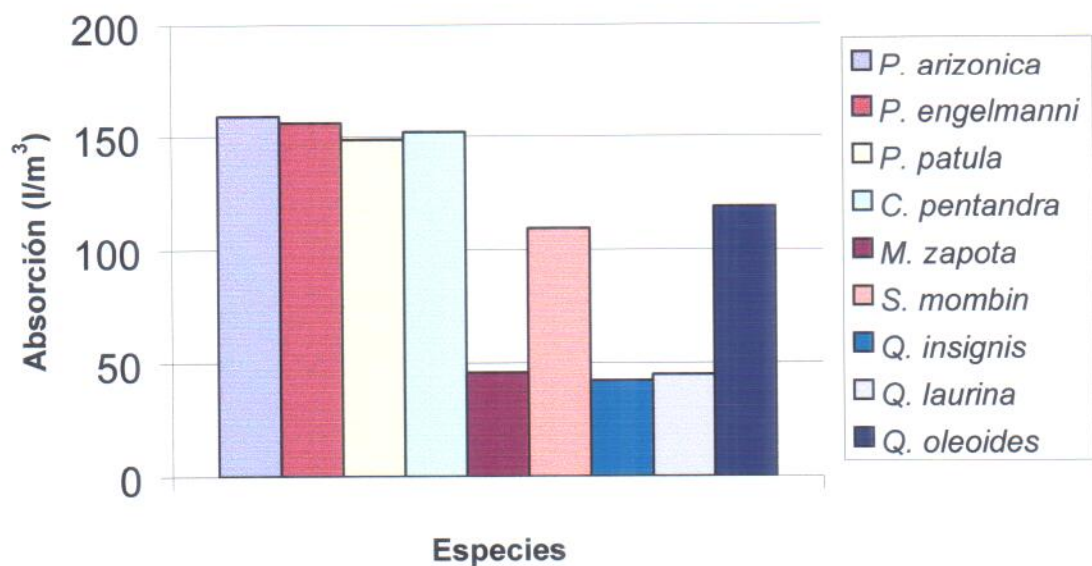


Figura 20. Absorción de la creosota en cada una de las especies a inmersión total.

En la figura 21 se compara la absorción de los tres preservadores estudiados; se nota que las sales CCA es el preservador mayormente absorbido por las 10 especies se puede deber a la composición química del preservador, la *Ceiba pentandra* fue la madera que absorbió más preservador y es la especie con mayor porcentaje de espacios vacíos.

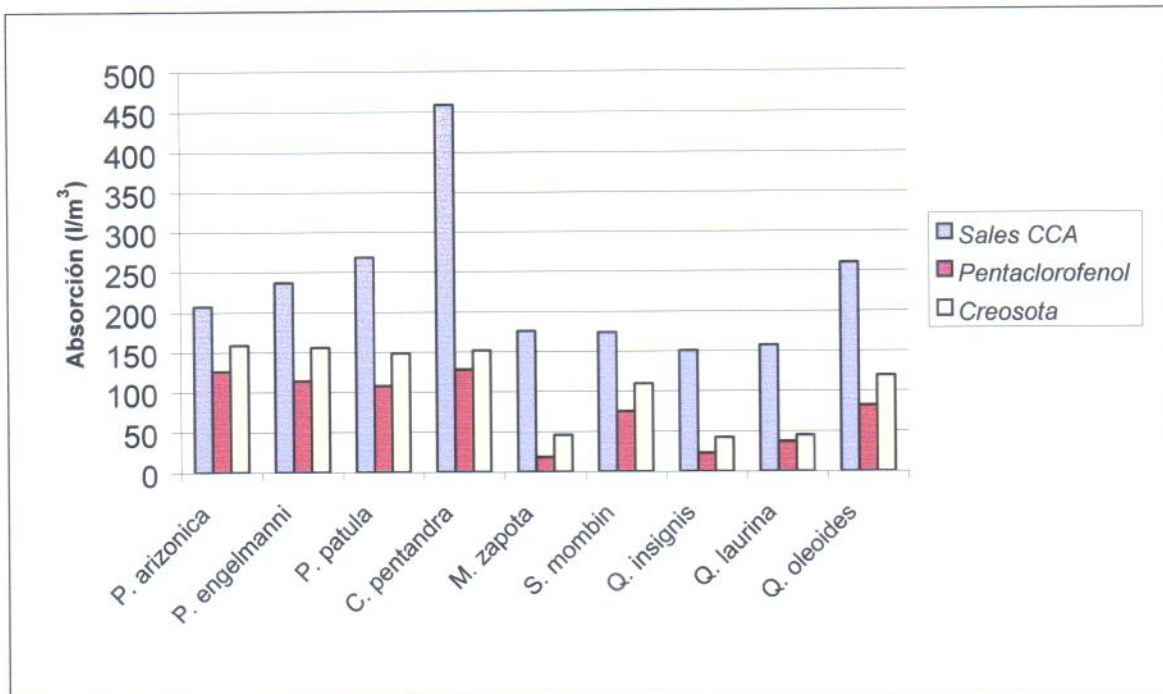


Figura 21. Absorción de sales CCA, PCP y creosota en cada una de las especies a inmersión total.

En la figura 22 se comparan los dos procesos con relación a la absorción en las sales CCA, se nota que la madera *Manilkara zapota*, *Quercus insignis*, *Q. laurina* y *Q. oleoides* absorbieron mayor cantidad de preservador en el proceso de inmersión. En estas maderas la penetración de líquidos se manifiesta más por un fenómeno de difusión y capilaridad, la penetración se manifiesta en el tiempo, que en acciones de presión en tiempos cortos.

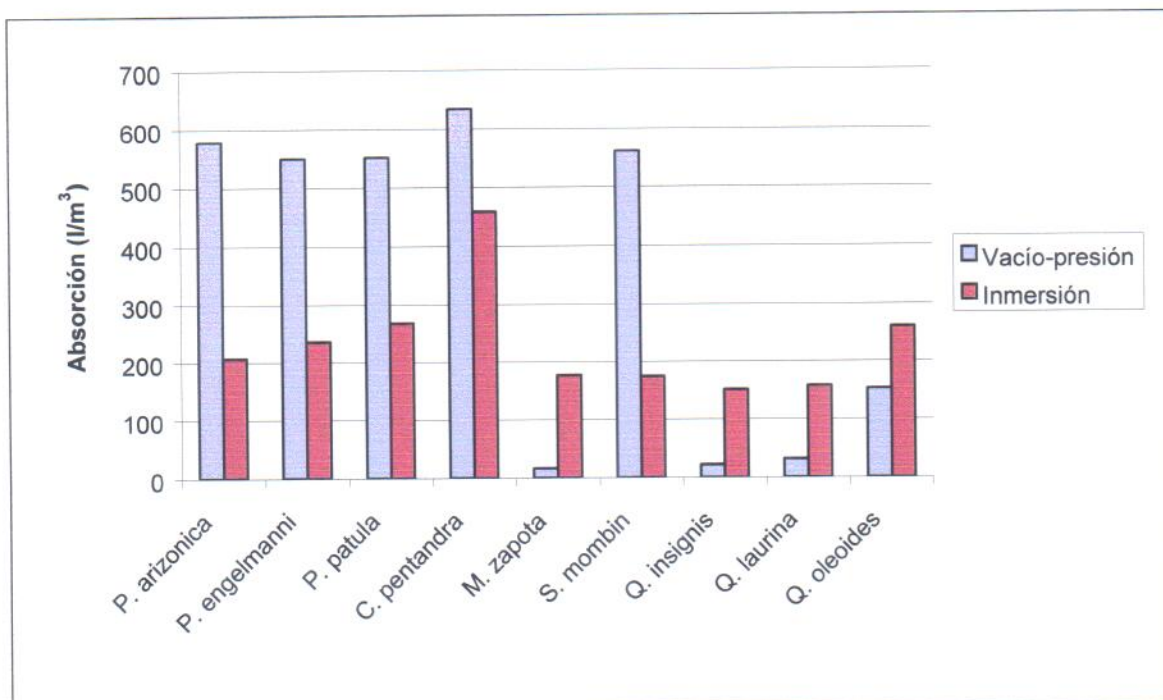


Figura 22. Absorción de sales CCA en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.

Por el contrario en las maderas mas porosas, tanto coníferas como latifoliadas, el tiempo de impregnación a vacío presión fue suficiente para alcanzar una buena penetración y por ende absorción, siendo en ellas mas lenta, comparativamente, el movimiento por capilaridad, pues en estos fenómenos influye el diámetro de los poros.

En la figura 23 se comparan los dos procesos estudiados se puede observar que la absorción con Pentaclorofenol en *Manilkara zapota*, *Quercus insignis*, *Q. laurina* y *Q. oleoides* fue mayor en el proceso de inmersión, lo cual es similar a los resultados presentados con el preservador de sales CCA.

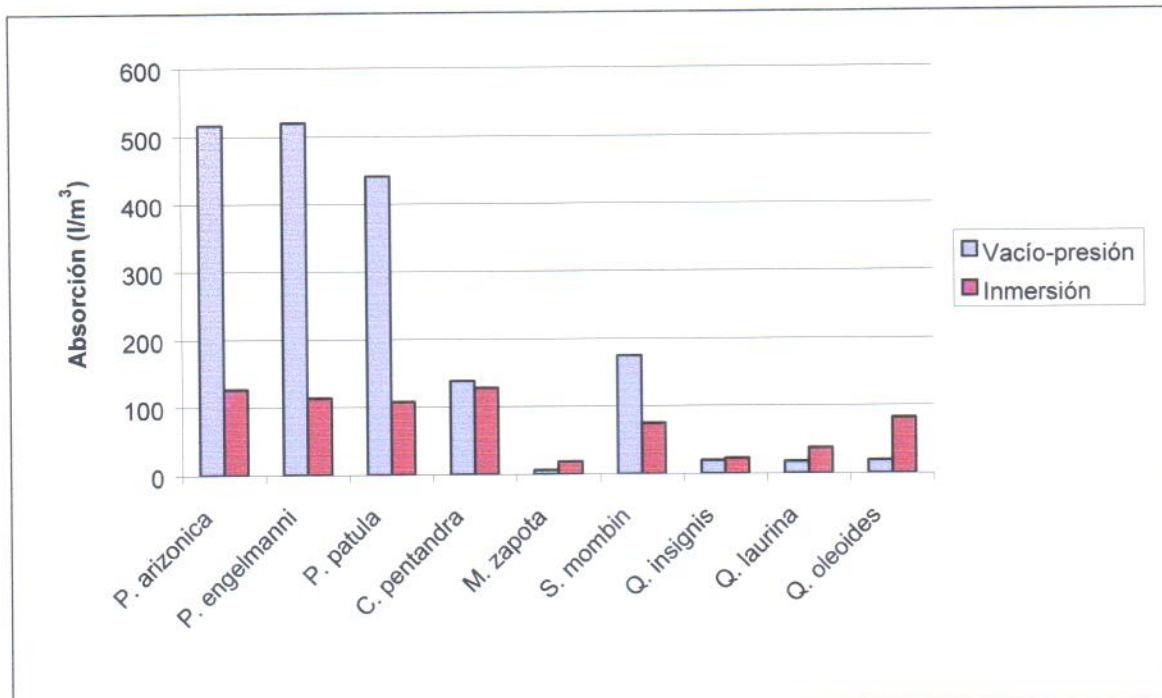


Figura 23. Absorción de PCP en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.

En la figura 24 se comparan los dos procesos estudiados mostrando que la absorción con creosota en *Manilkara zapota*, *Quercus insignis*, *Q. laurina* fue mayor en el proceso de inmersión, este resultado es similar al obtenido con sales CCA y pentaclorofenol a excepción de *Quercus oleoides*.

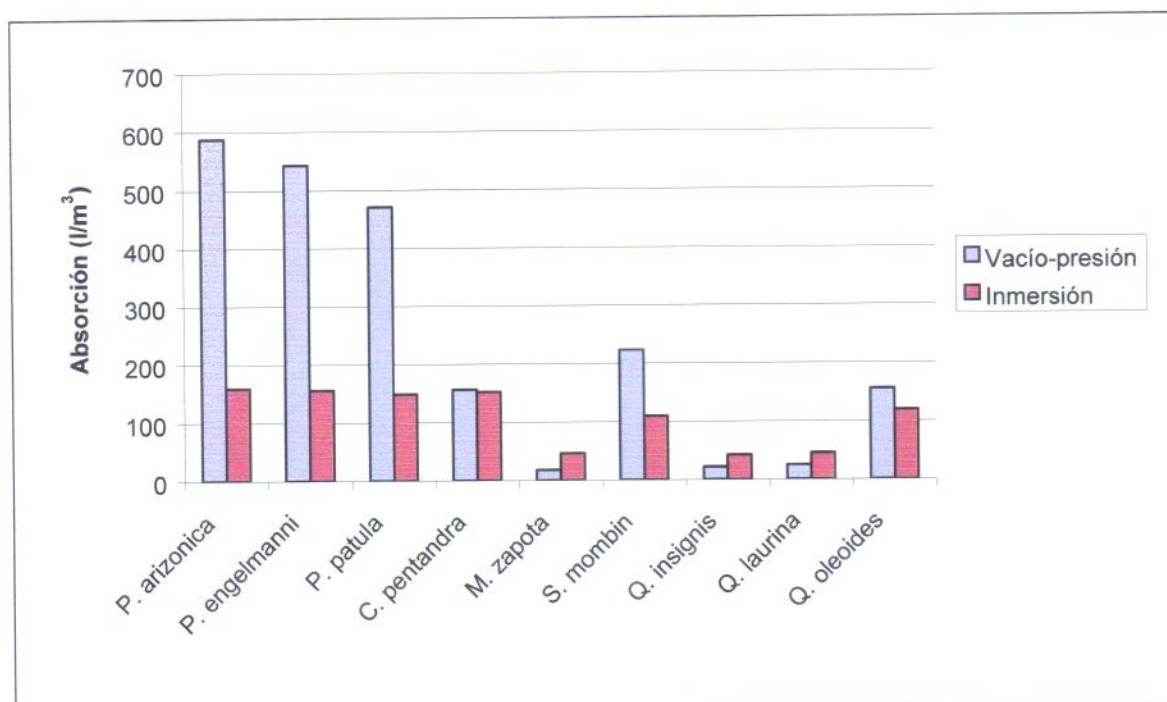


Figura 24. Absorción de creosota en cada una de las especies a vacío-presión e inmersión total.

5.2.3. 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 presenta en los cuadros del 23 al 31. Además la clasificación del grado de absorción para cada nivel de riesgo se realizó en base a la concentración de cada producto aplicado y utilizando la tabla que se muestra en el anexo 5.

En el cuadro 23 se puede observar que entre los tratamientos 5 y 1 que obtuvieron la mayor absorción no existe diferencia significativa. Por otra parte, se tiene que el resto de los tratamientos resultaron ser diferentes al 5 y 1 y además diferentes entre ellos.

Cuadro 23. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Pinus Arizona*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 5	Vacío-presión con creosota	587.50	10	R5
A 1	Vacío-presión con sales CCA	578.10	10	R4
B 3	Vacío-presión con PCP	516.50	10	R4
C 2	Inmersión con sales CCA	206.88	10	R1
D 6	Inmersión con creosota	158.88	10	R3
E 4	Inmersión con PCP	126.08	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 24 se observa que entre los tratamientos 1, 5 y 3 que obtuvieron la mayor absorción no existe diferencia significativa. Por otra parte, se tiene que el resto de los tratamientos resultaron ser diferentes al 1, 5 y 3 y además diferentes entre ellos.

Cuadro 24. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Pinus engelmanni*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 1	Vacío-presión con sales CCA	548.85	10	R4
A 5	Vacío-presión con creosota	542.55	10	R5
A 3	Vacío-presión con PCP	519.98	10	R4
B 2	Inmersión con sales CCA	238.53	10	R1
C 6	Inmersión con creosota	156.00	10	R3
D 4	Inmersión con PCP	113.40	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 25 se observa que el tratamiento 1 obtuvo la mayor absorción. Por otra parte, se tiene que los demás tratamientos resultaron ser diferentes entre ellos.

Cuadro 25. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Pinus patula*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 1	Vacío-presión con sales CCA	550.72	10	R4
B 5	Vacío-presión con creosota	470.42	10	R5
C 3	Vacío-presión con PCP	441.45	10	R4
D 2	Inmersión con sales CCA	267.75	10	R2
E 6	Inmersión con creosota	148.40	10	R3
F 4	Inmersión con PCP	107.25	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 26 se observa que el tratamiento 1 obtuvo la mayor absorción, seguido por el tratamiento 2. Por otra parte, se tiene que los demás tratamientos resultaron ser iguales entre ellos y presentaron menor absorción que el tratamiento 2.

Cuadro 26. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Ceiba pentandra*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 1	Vacío-presión con sales CCA	634.73	10	R4
B 2	Inmersión con sales CCA	458.53	10	R3
C 5	Vacío-presión con creosota	156.08	10	R3
C 6	Inmersión con creosota	151.90	10	R3
C 3	Vacío-presión con PCP	137.93	10	R2
C 4	Inmersión con PCP	127.75	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 27 se observa que el tratamiento 2 obtuvo la mayor absorción, seguido por el tratamiento 6, por otra parte, se tiene que los tratamientos 4, 5 y 1 resultaron ser iguales entre ellos y menores que el tratamiento 6, y finalmente el tratamiento 3 presento la más baja absorción.

Cuadro 27. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Manilkara zapota*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 2	Inmersión con sales CCA	176.37	10	R1
B 6	Inmersión con creosota	45.80	10	NR
C 4	Inmersión con PCP	18.77	10	NR
C 5	Vacío-presión con creosota	17.55	10	NR
C 1	Vacío-presión con sales CCA	16.35	10	NR
D 3	Vacío-presión con PCP	6.40	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 28 se observa que el tratamiento 1 obtuvo la mayor absorción, seguido por el tratamiento 5, también se tiene que los tratamientos 3 y 2 resultaron ser iguales entre ellos y menores al tratamiento 5, así mismo los tratamiento 6 y 4 son iguales y menores que los tratamientos 3 y 2.

Cuadro 28. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Spondias mombin*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable.
A 1	Vacío-presión con sales CCA	560.75	10	R4
B 5	Vacío-presión con creosota	222.95	10	R4
C 3	Vacío-presión con PCP	174.55	10	R3
C 2	Inmersión con sales CCA	174.20	10	R1
D 6	Inmersión con creosota	109.43	10	NR
D 4	Inmersión con PCP	75.18	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 29 se observa que el tratamiento 2 obtuvo la mayor absorción, seguido por el tratamiento 6, y todos los demás tratamientos 4, 1, 5 y 3 resultaron ser iguales entre si y de menor absorción que el tratamiento 6.

Cuadro 29. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Quercus insignis*.

Tratamientos.	Descripción	Media (l/m ³).	N	Nivel máximo alcanzable
A 2	Inmersión con sales CCA	134.15	10	--
B 6	Inmersión con creosota	42.27	10	NR
C 4	Inmersión con PCP	22.90	10	NR
C 1	Vacío-presión con sales CCA	21.82	10	--
C 5	Vacío-presión con creosota	21.32	10	NR
C 3	Vacío-presión con PCP	19.80	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 30 se observa que el tratamiento 2 obtuvo la mayor absorción, los tratamientos 6, 4 y 1 son iguales entre si y presentaron menor absorción que el tratamiento 2. Los tratamientos 5 y 3 son iguales entre si y presentaron la menor absorción.

Cuadro 30. Comparación de medias y clasificación de riesgo para *Quercus laurina*.

Tratamiento.	Descripción	Media (l/m ³).	N	Nivel máximo alcanzable
A 2	Inmersión con Sales CCA	157.30	10	--
B 6	Inmersión con Creosota	42.45	10	NR
B 4	Inmersión con PCP	37.37	10	NR
B 1	Vacío-presión con Sales CCA	31.22	10	--
D 5	Vacío-presión con Creosota	24.32	10	NR
D 3	Vacío-presión con PCP	17.85	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

En el cuadro 31 se observa que el tratamiento 2 obtuvo la mayor absorción, seguido por los tratamiento 5 y 1 que son iguales entre si, pero con menor absorción que el tratamiento 2, por otra parte, se tiene que los tratamientos 6, 4, y 3 resultaron ser diferentes entre ellos y con menor absorción que el tratamiento 5 y 1.

Cuadro 31. Resultados de la prueba de t y clasificación de riesgo para *Quercus oleoides*.

Tratamiento.	Descripción.	Media (l/m ³).	N.	Nivel máximo alcanzable
A 2	Inmersión con Sales CCA	259.67	10	R2
B 5	Vacío-presión con Creosota	155.02	10	R3
B 1	Vacío-presión con Sales CCA	152.77	10	--
C 6	Inmersión con Creosota	118.85	10	NR
D 4	Inmersión con PCP	81.70	10	NR
E 3	Vacío-presión con PCP	19.32	10	NR

R = Nivel de Riesgo, NR = No recomendable, N = Número de probetas.

Nota. Tratamientos con letras iguales no existe diferencia significativa.

Al comparar las tres especies de pinos que presentan características anatómicas similares se puede ver que los 6 tratamientos se comparten de igual forma en las tres especies, siendo el de vacío-presión con sales CCA el de mayor absorción. Así mismo, si se comparan las tres especies de latifoliadas tropicales, se puede ver que el comportamiento no es similar, porque las características anatómicas y propiedades físicas son diferentes, la *Ceiba pentandra* y *Spondias mombin* que presentan una densidad menor, el tratamiento con vacío-presión con sales CCA presento una mayor absorción, lo cual puede deberse a la gran cantidad de espacios vacíos que tiene la madera que permite que la entrada sea rápida. Sin embargo en *Manilkara zapota* la mayor absorción fue el de inmersión con sales CCA, esto se puede deber a que el producto entra por difusión. En el caso de los encinos que son especies con características similares y con una densidad alta, el tratamiento con mayor absorción fue el de inmersión con sales CCA.

5.3. Absorción a través del tiempo por inmersión.

Para determinar mejor el comportamiento de la absorción a través del tiempo se agruparon las especies por genero: el primer grupo esta formado por los pinos (*P. arizonica*, *P. engelmanni* y *P. patula*), el segundo grupo fue el de las latifoliadas tropicales (*Ceiba pentandra*, *Manilkara zapota* y *Spondias mombin*), y el tercer grupo esta formado por los encinos (*Q. insignis*, *Q. laurina* y *Q. oleoides*).

5.3.1 Absorción de sales CCA a través del tiempo para las diferentes especies.

En las sales CCA la absorción por inmersión va a depender de la viscosidad del producto y de la estructura anatómica de la madera, si la viscosidad es baja el preservador penetrara mejor y más rápidamente (Deón, 1989), en el cuadro 32 se puede observar los valores de absorción.

En las figuras 25, 26 y 27 se muestran las graficas de absorción de sales CCA a través del tiempo, así como las ecuaciones logarítmicas que se generaron para el grupo de los pinos, el grupo de las latifoliadas tropicales y el de los encinos respectivamente.

Cuadro 32 Absorción* de las sales CCA para las diferentes especies a través del tiempo.

Especie	Tiempo (hrs)										
	12	24	36	48	60	72	96	120	144	168	192
<i>P. arizonica</i>	110.58	130.40	143.13	150.50	153.55	161.33	165.58	173.15	179.03	192.15	206.83
<i>P. engelmanni</i>	109.80	131.20	153.03	157.83	165.43	176.35	183.78	191.88	202.25	214.68	238.53
<i>P. patula</i>	150.63	184.68	200.25	210.18	213.70	222.53	229.90	235.55	248.53	255.23	267.75
<i>C. pentandra</i>	159.50	199.78	270.10	300.80	325.68	348.05	375.63	394.90	415.80	436.60	458.53
<i>M. zapota</i>	53.75	67.35	86.55	96.52	107.00	116.30	131.43	143.38	153.40	162.85	176.38
<i>S. mombin</i>	66.63	83.20	99.45	105.78	114.95	120.65	130.38	139.50	150.90	158.38	174.20
<i>Q. insignis</i>	40.43	54.18	65.78	73.63	82.78	90.65	103.60	115.05	124.95	134.15	150.95
<i>Q. laurina</i>	55.38	65.63	78.85	86.53	94.40	101.45	114.13	124.50	133.58	142.65	157.30
<i>Q. oleoides</i>	70.93	109.55	136.40	147.65	160.73	172.95	194.58	209.10	222.43	240.75	259.68

(*) Absorción en l/m³

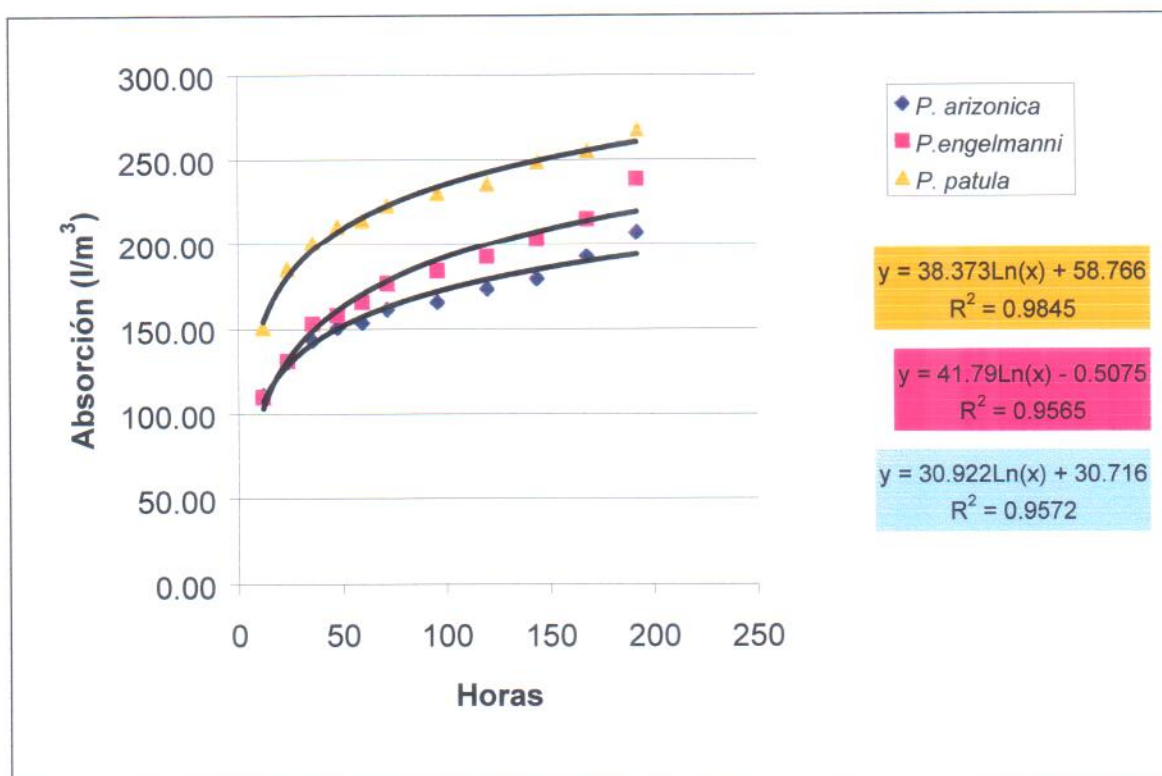


Figura 25. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.

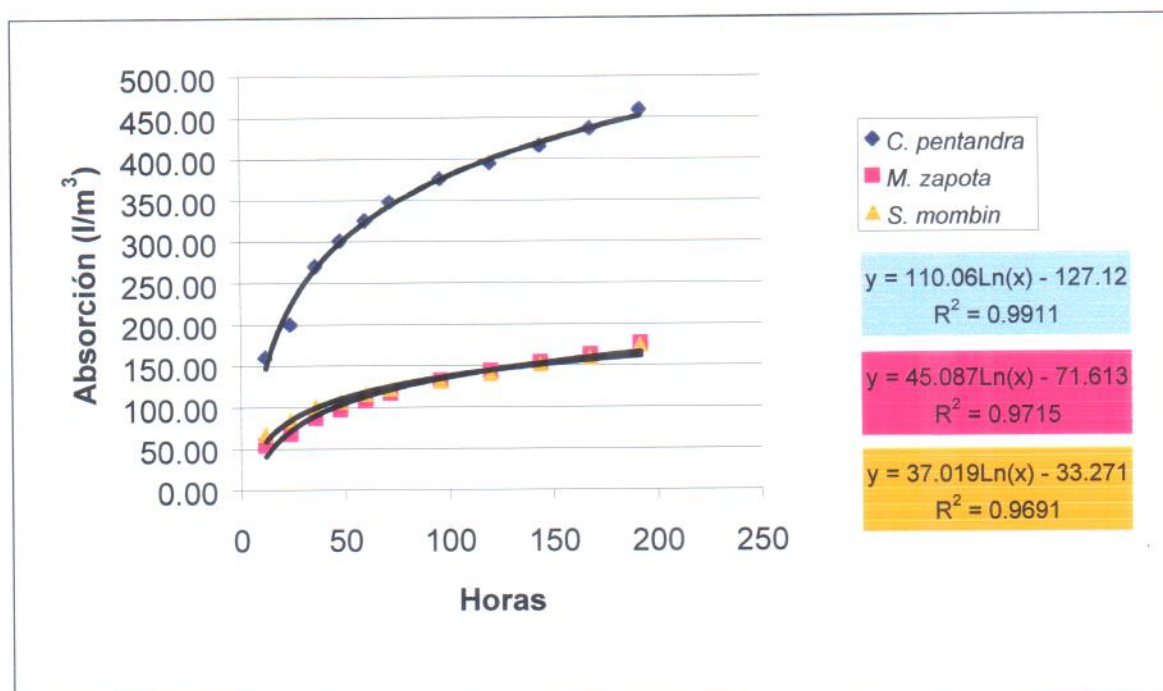


Figura 26. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de *C. pentandra*, *M. zapota* y *S. Mombin*.

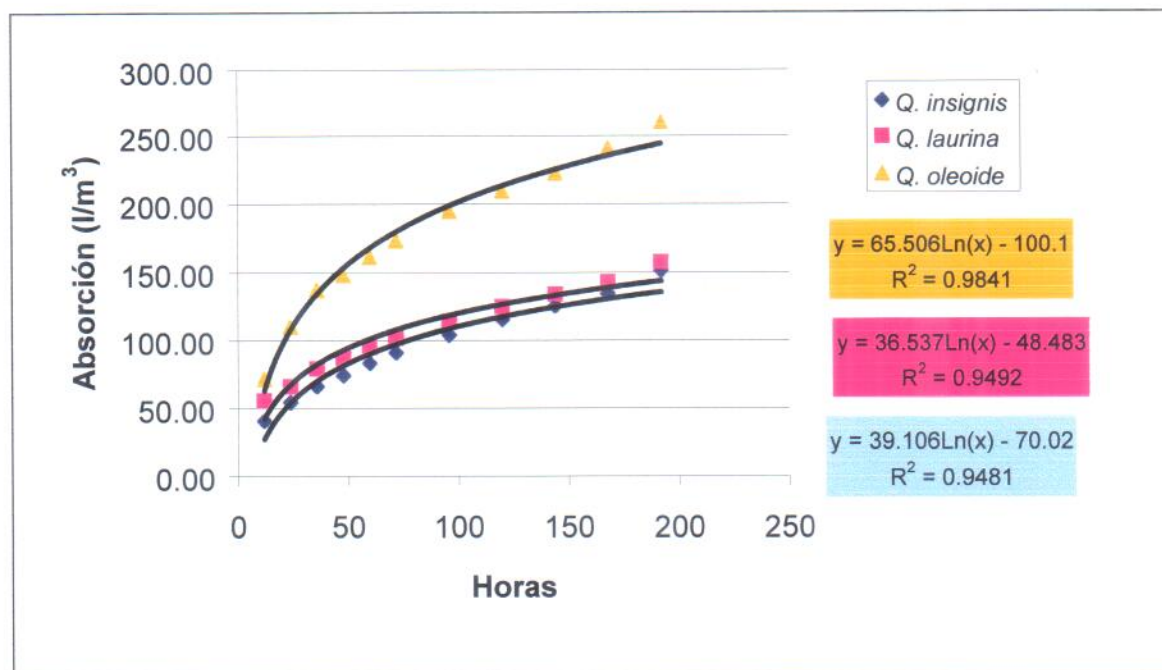


Figura 27. Grafica de absorción de sales CCA a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.

En el cuadro 33 se presentan los tiempos en horas calculados en base a las ecuaciones generadas y las absorciones requeridas para cada uno de los niveles de riesgo, para cada una de las especies a inmersión con sales CCA. A partir de las 720 horas (1 mes) ya no es conveniente que se siga el tratamiento porque se vuelve incosteable pero de todas formas se reportan los tiempos calculados en que la madera pudiera alcanzar los máximos niveles de absorción.

Cuadro 33. Tiempo que se necesita para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo a inmersión con sales CCA a una concentración de 2.5 %.

Especie	Ecuación logaritmicas	R1 160 (l/m ³)	R2 256 (l/m ³)	R3 384 (l/m ³)	R4 512 (l/m ³)	R5 1600 (l/m ³)
		Tiempo en horas				
<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.

La única especie que alcanza una absorción de 512 l/m³ para un nivel de riesgo R4 a un tiempo de 332.62 horas (13.85 días) es *C. pentandra*. También esta misma especie alcanza una absorción para un nivel de riesgo R3 a 103.96 horas (4.33 días). Las especies que alcanzan una absorción para un nivel de riesgo R2 son: *P. engelmanni* con 463.13 horas (19.29 días), *P. patula* con 170.70 horas (7.11 días), *C. pentandra* con 32.49 horas (1.35 días) y *Q. oleoides* con 229.56 horas (9.56 días). Todas las especies alcanzan una absorción para un nivel de riesgo R1 pero las especies que alcanzan en menor tiempo en este nivel de absorción son: *P. engelmanni* con 13.99 horas (0.58 días) y *P. patula* con 13.58 horas (0.56 días). Difícilmente se alcanza un nivel de riesgo R5 ya que es mucho el tiempo que se

necesita para alcanzar el nivel de absorción requerido, lo que conduce a que se tenga que cambiar la concentración de la solución impregnante a un valor superior.

5.3.2. Absorción de PCP a través del tiempo para las diferentes especies.

En este caso la penetración depende principalmente por difusión a través de la pared celular (Deón, 1989), en el cuadro 34 se puede notar que en *Ceiba pentandra* y *Manilkara zapota* la absorción del PCP fue similar aunque tengan diferente densidad, Deón (1989) menciona que la mayor impregnación no va a estar ligada necesariamente con la densidad ya que en especies de densidad de 0.5 g/cm³ pueden ser refractarias.

En las figuras 28, 29 y 30 se muestran las graficas de absorción de PCP a través del tiempo, así como las ecuaciones logarítmicas que se generaron para el grupo de los pinos, el grupo de las latifoliadas tropicales y el de los encinos respectivamente.

Cuadro 34. Absorción* de PCP para las diferentes especies a través del tiempo.

Especie	Tiempo (hrs)										
	12	24	36	48	60	72	96	120	144	168	192
<i>P. arizonica</i>	79.96	79.40	87.43	90.08	96.08	101.85	107.38	114.03	118.58	122.20	126.08
<i>P. engelmanni</i>	60.48	64.35	71.30	75.40	80.40	86.25	90.58	95.95	100.85	107.30	113.40
<i>P. patula</i>	56.80	61.65	66.00	70.80	74.30	79.85	85.13	92.20	98.08	102.15	107.25
<i>C. pentandra</i>	60.60	69.43	76.68	83.43	90.53	96.80	103.58	112.13	118.48	123.35	127.75
<i>M. zapota</i>	9.32	10.58	11.70	12.65	13.23	13.85	15.18	16.13	16.78	17.70	18.78
<i>S. mombin</i>	41.73	44.80	48.78	50.58	53.40	56.73	59.75	63.85	69.03	72.88	75.18
<i>Q. insignis</i>	10.75	11.83	13.20	14.88	15.58	16.43	18.23	19.60	20.65	21.65	22.90
<i>Q. laurina</i>	22.48	24.45	28.50	28.53	29.38	30.58	32.70	34.20	35.63	36.55	37.38
<i>Q. oleoides</i>	48.10	50.63	55.73	59.00	60.65	62.63	67.05	71.65	75.28	80.63	81.70

(*) Absorción en l/m³.

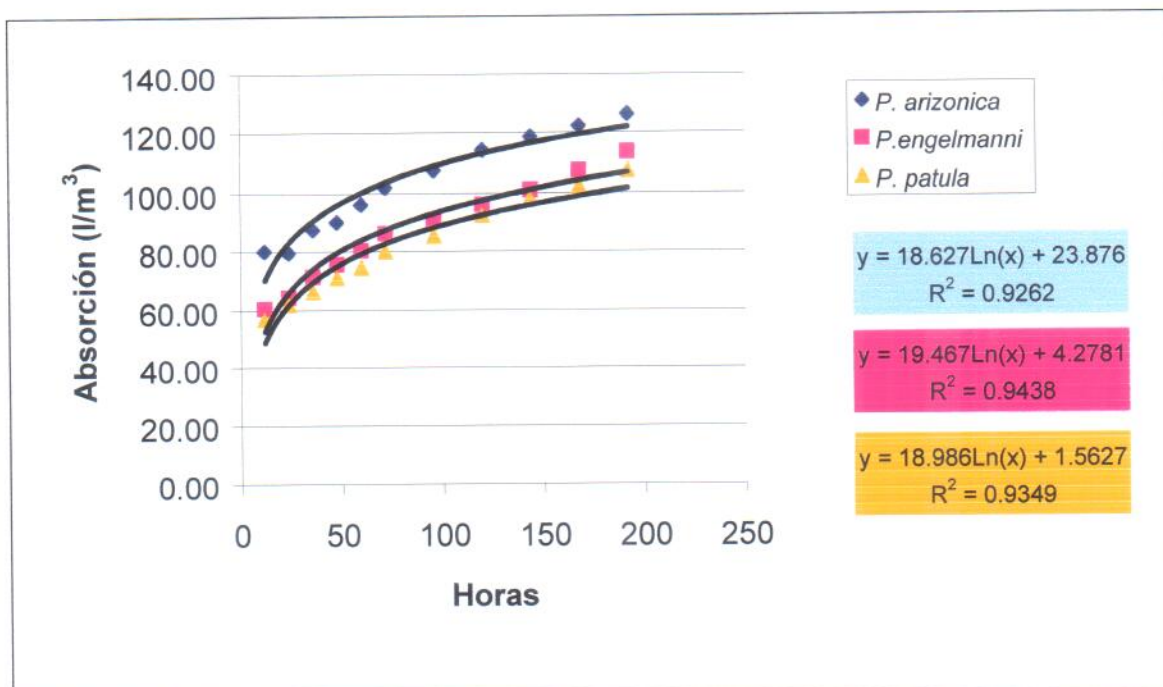


Figura 28. Gráfica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.

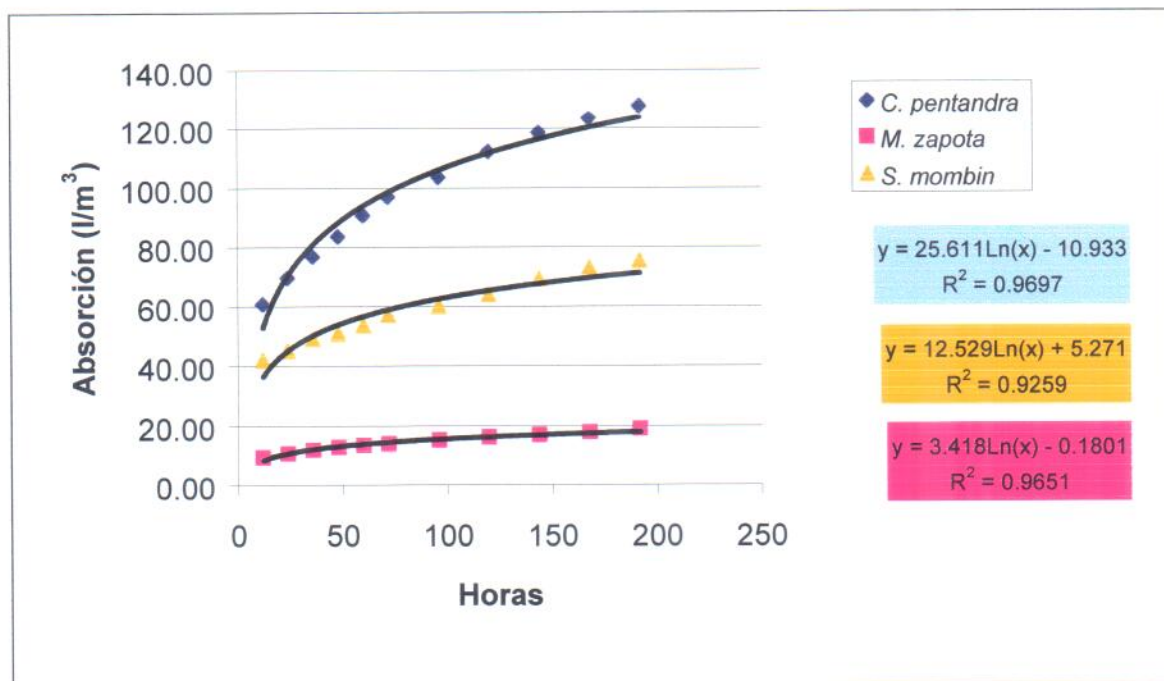


Figura 29. Gráfica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de *C. pentandra*, *M. zapota* y *S. mombin*.

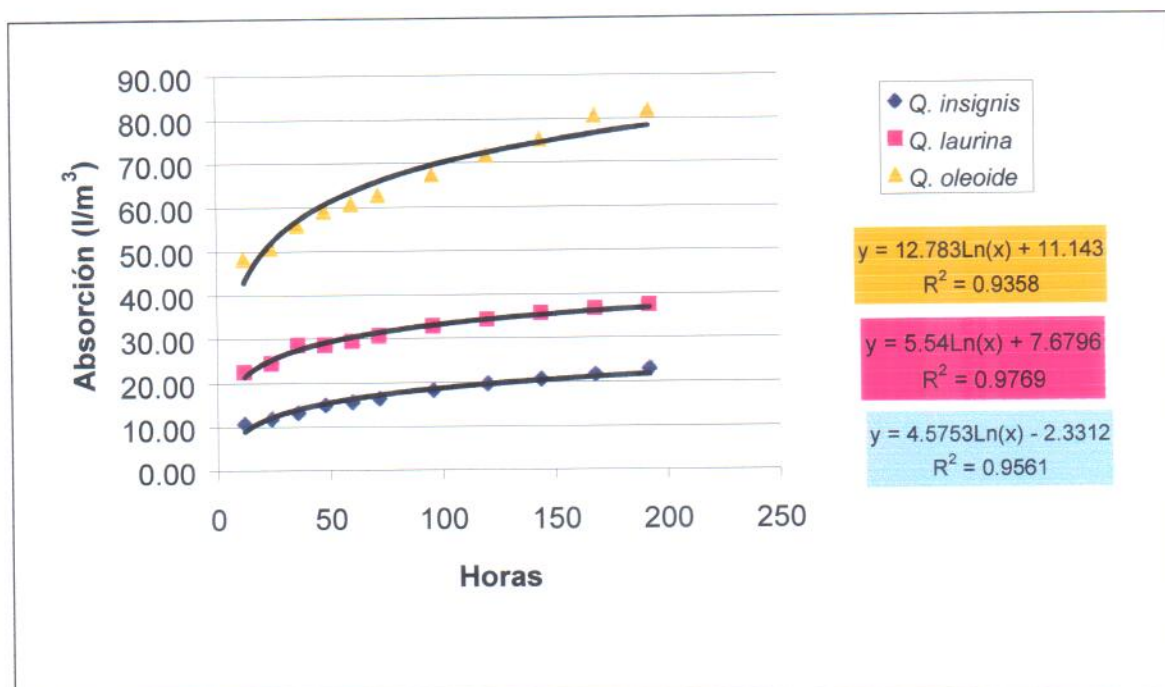


Figura 30. Grafica de absorción de PCP a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.

En el cuadro 35 se presentan los tiempos en horas, calculados en base a las ecuaciones generadas y las absorciones requeridas para cada uno de los niveles de riesgo, para cada una de las especies a inmersión con PCP.

Cuadro 35. 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	128	160	192	NR
			(l/m³)	(l/m³)	(l/m³)	
Tiempo en horas						
<i>P. arizonica</i>	y = 18.627Ln(x) + 23.876	NR	267.72	1492.02	8315.05	NR
<i>P. engelmanni</i>	y = 19.467Ln(x) + 4.2781	NR	575.63	2978.80	15414.80	NR
<i>P. patula</i>	y = 18.986Ln(x) + 1.5627	NR	780.16	4208.89	22706.50	NR
<i>C. pentandra</i>	y = 25.611Ln(x) - 10.933	NR	226.95	791.72	2761.88	NR
<i>M. zapota</i>	y = 3.418Ln(x) - 0.1801	NR	1.93505E+16	2.25239E+20	2.62177E+24	NR
<i>S. mombin</i>	y = 12.529Ln(x) + 5.271	NR	17954.47	230883.55	2969022.45	NR
<i>Q. insignis</i>	y = 4.5753Ln(x) - 2.3312	NR	2.35092E+12	2.56287E+15	2.79393E+18	NR
<i>Q. laurina</i>	y = 5.54Ln(x) + 7.6796	NR	2705313812.45	8.72525E+11	2.81409E+14	NR
<i>Q. oleoides</i>	y = 12.783Ln(x) + 11.143	NR	9335.64	114110.10	1394775.13	NR

NR = no recomendable, R = Nivel de riesgo.

Con la utilización de PCP se tiene que los niveles de riesgo R1 y R5 no se recomiendan que se utilicen debido a las características del mismo. También se observa que ninguna de las especies alcanzó los niveles de absorción para niveles de riesgo R4. Para el nivel de riesgo R3 la especie que reporta el menor número de horas fue *C. pentandra* con 791.72 horas (32.98 días). Para el nivel de riesgo R2 se tiene que la especie que presento el menor número de horas fue *C. pentandra* con 226.95 horas (9.45 días).

5.3.3. Absorción de la creosota a través del tiempo para las diferentes especies.

Al igual que el pentaclorofenol la penetración de la creosota va a realizarse principalmente por difusión en las paredes celulares, en el cuadro 36 se puede observar la absorción de la creosota a través del tiempo.

Cuadro 36. Absorción* de la creosota para las diferentes especies a través del tiempo.

Especie	Tiempo (hrs)										
	12	24	36	48	60	72	96	120	144	168	192
<i>P. arizonica</i>	84.80	98.30	100.05	100.78	102.95	115.10	122.63	135.20	139.30	148.78	158.88
<i>P. engelmanni</i>	79.40	85.23	93.95	95.75	98.48	105.90	122.03	133.33	139.80	144.20	156.00
<i>P. patula</i>	65.23	69.65	83.70	87.05	89.75	96.95	109.68	120.55	131.50	135.48	148.40
<i>C. pentandra</i>	56.30	70.40	84.58	89.05	92.78	100.15	116.60	127.65	135.26	141.83	151.90
<i>M. zapota</i>	10.95	16.85	21.60	22.93	24.48	26.28	28.43	32.83	36.20	41.25	45.80
<i>S. mombin</i>	43.65	55.58	66.10	72.08	74.10	77.60	84.33	90.33	97.68	102.83	109.43
<i>Q. insignis</i>	12.03	15.08	18.55	24.53	26.30	28.00	30.33	33.65	38.15	39.48	42.28
<i>Q. laurina</i>	11.83	14.24	16.83	20.43	22.73	25.55	28.63	33.88	38.45	42.45	44.90
<i>Q. oleoides</i>	56.55	65.23	73.60	77.55	81.43	89.93	98.70	104.95	112.65	118.48	118.85

(*) Absorción en l/m³.

En las figuras 31, 32 y 33 se muestran las graficas de absorción de creosota a través del tiempo, así como las ecuaciones logarítmicas que se generaron para el grupo de los pinos, el grupo de las latifoliadas tropicales y el de los encinos respectivamente.

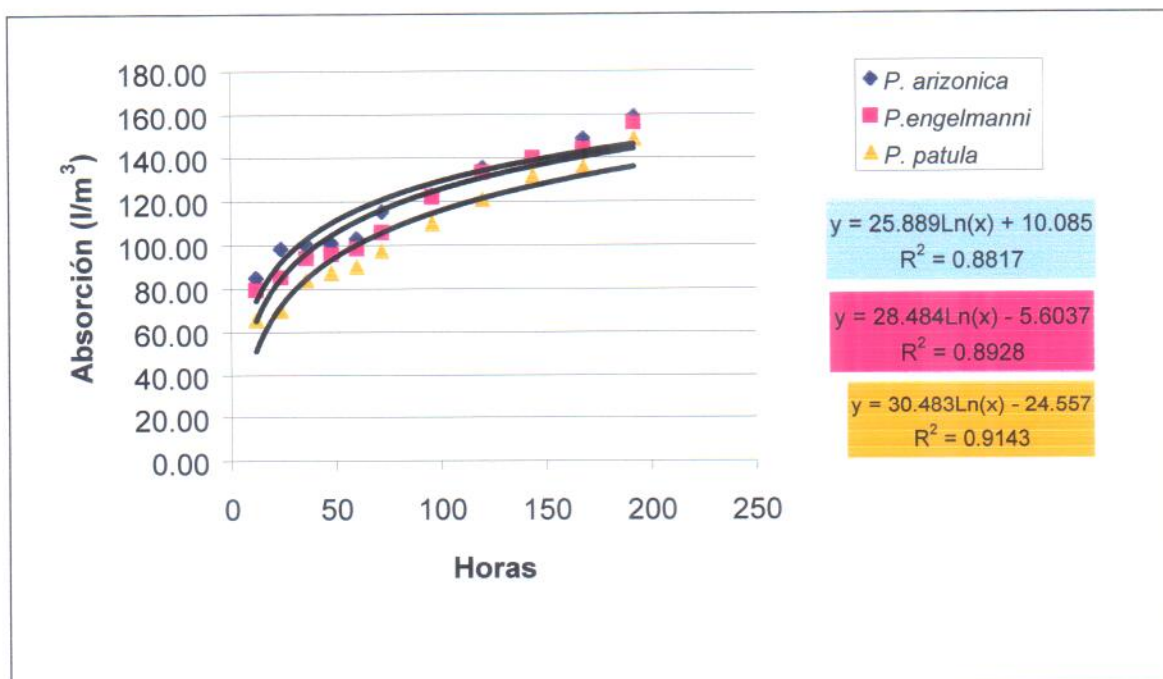


Figura 31. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los pinos.

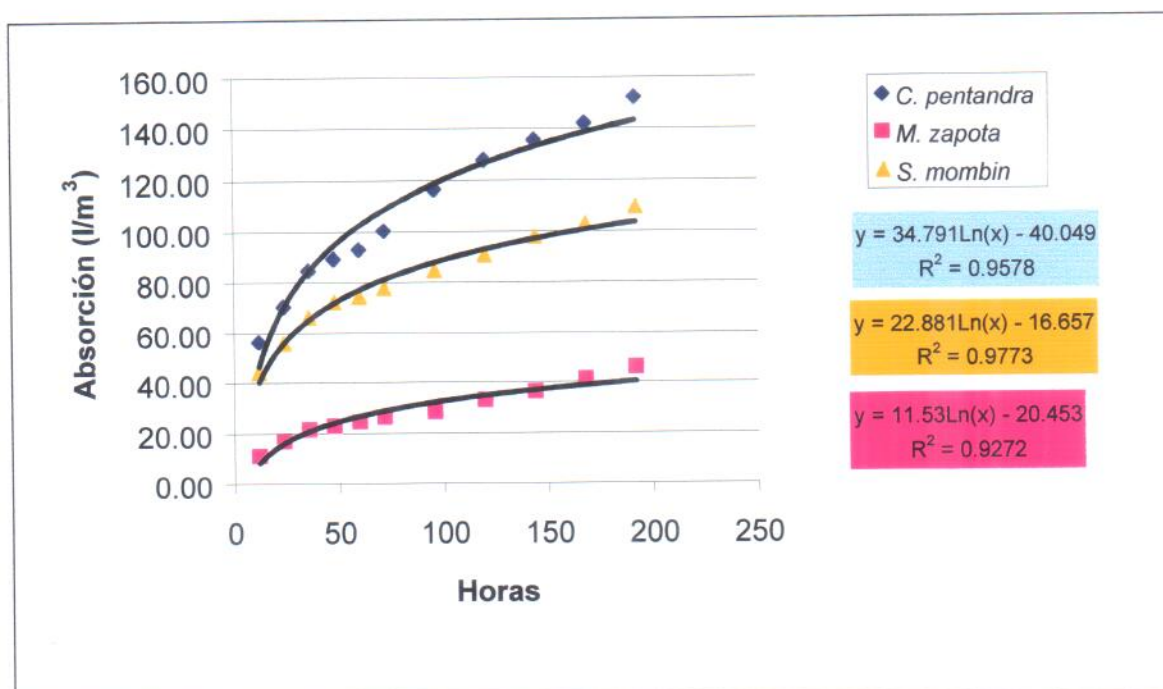


Figura 32. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de *C. pentandra*, *M. zapota* y *S. mombin*.

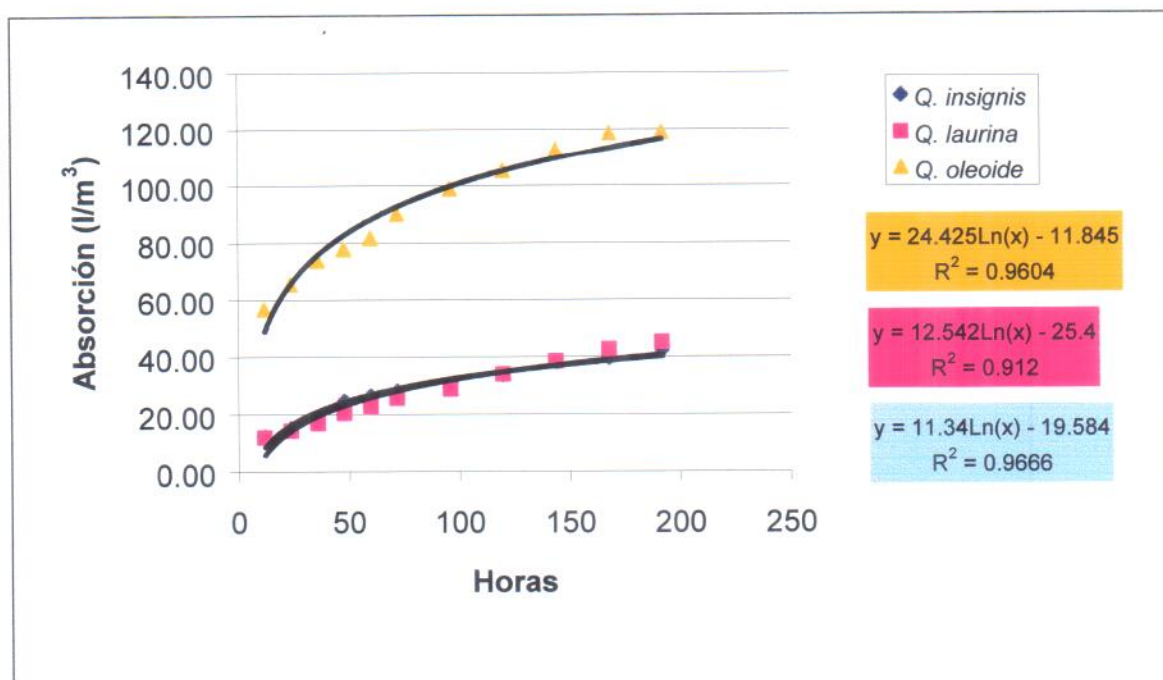


Figura 33. Grafica de absorción de la creosota a inmersión y ecuaciones logarítmicas de los encinos.

En el cuadro 37 se presentan los tiempos en horas, calculados en base a las ecuaciones generadas y las absorciones requeridas para cada uno de los niveles de riesgo, para cada una de las especies a inmersión con creosota.

Cuadro 37. Tiempo que se necesita para alcanzar los niveles de absorción para los diferentes niveles de riesgo a inmersión con creosota a una concentración del 50 %.

		R1	R2	R3	R4	R5
Especie	Ecuaciones logarítmicas	NR	NR	128 (l/m ³)	160 (l/m ³)	400 (l/m ³)
Tiempo en horas						
<i>P. arizonica</i>	y = 25.889Ln(x) + 10.085	NR	NR	95.07	327.24	3474738.50
<i>P. engelmanni</i>	y = 28.484Ln(x) - 5.6037	NR	NR	108.91	334.93	1528355.67
<i>P. patula</i>	y = 30.483Ln(x) - 24.557	NR	NR	149.11	425.99	1118685.17
<i>C. pentandra</i>	y = 34.791Ln(x) - 40.049	NR	NR	125.24	314.20	311251.75
<i>M. zapota</i>	y = 11.53Ln(x) - 20.453	NR	NR	390572.39	6266554.29	6.87042E+15
<i>S. mombin</i>	y = 22.881Ln(x) - 16.657	NR	NR	556.77	2254.50	80981989.55
<i>Q. insignis</i>	y = 11.34Ln(x) - 19.584	NR	NR	448858.10	7544516.53	1.17233E+16
<i>Q. laurina</i>	y = 12.542Ln(x) - 25.4	NR	NR	205028.48	2629571.25	5.37546E+14
<i>Q. oleoides</i>	y = 24.425Ln(x) - 11.845	NR	NR	306.58	1136.40	21033294.56

NR = no recomendable, R = Nivel de riesgo.

Con el empleo de la creosota para los niveles de riesgo R1 y R2 no se recomienda que se utilice debido a las características de la misma. También se observa que ninguna de las especies alcanzó los niveles de absorción para el nivel de riesgo R5. Para el nivel de absorción del nivel de riesgo R4 la especie que reporta el menor número de horas fue *C. pentandra* con 314.20 horas (13.09 días). Para el nivel de absorción del nivel de riesgo R3 la especie que presentó el menor número de horas fue *P. arizonica* con 95.07 horas (3.96 días).

6. CONCLUSIONES.

Con el método vacío-presión utilizando sales CCA, los pinos, la ceiba y el jobo resultaron ser maderas fáciles de impregnar; la madera de los encinos y el chicozapote son difíciles de impregnar con PCP y creosota, solamente los pinos resultaron fáciles de impregnar.

Con el método de inmersión empleando sales CCA la madera del pino colorado, la ceiba y el tesmol resultaron fáciles de impregnar. Con el PCP y la creosota los pinos y la ceiba resultaron impregnables y las cinco especies restantes fueron difíciles de impregnar.

La madera de los pinos, la ceiba y el jobo absorbieron con el método vacío-presión y con sales CCA más producto que con los otros dos productos. Sin embargo los encinos absorbieron la mayor cantidad de sales CCA pero con el método de inmersión.

La madera de ceiba a inmersión con sales CCA alcanza una absorción de 512 l/m^3 para un nivel de riesgo R4 en 13.85 días, con PCP alcanza una absorción de 160 l/m^3 para un nivel de riesgo R3 en 32.98 días y con creosota alcanza una absorción de 160 l/m^3 para un nivel de riesgo R4 a 13.09 días.

Para que los tiempos de absorción puedan ser disminuidos, es conveniente que las concentraciones de los productos utilizados sean mayores.

7. LITERATURA CITADA.

- AGUILAR, R. S. 1996. Descripción de la madera y anatomía ecológica de las especies arbóreas de un bosque mesófilo de México. Tesis de maestría, Facultad de ciencias UNAM. México. 163 p.
- ✓ BARNES, H. M. y R. J. MURPHY 1995. Wood preservation: The classics. Forest Products Journal. 45(9):16-25.
- BEHR, E. A.; I. B. SACHS.; B. F. KUKACHKA y J. O. BLEW. 1969. Microscopic Examination of pressure treated wood. Forest Products Journal 19(8):31-40.
- BORJA DE LA R., A. y J. C. TAMARIT U. 1997. Propiedades tecnológicas de la Madera de *Pinus arizonica* Engelm del Edo de Durango, México Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 3(1):103-107.
- CHEN P; Y. S.; G. ZHANG. y J. W. V. SAMBEEK. 1998. Relationships among growth rate, vessel lumen area and wood permeability for three central hardwood species. Forest Products Journal. 48(3):87-90.
- CHUDNOFF, M. y E. GOYTIA 1967. The effect of incising on drying, treatability, and bending strength posts. Forest service research paper itf-5. U.S. Department of Agriculture. 20 p.
- COETZEE, P. F. y A. V. LARR. 1977. Treatment of Softwoods with CCA at High Moisture Levels Forest Products Journal. 27(7):38-42.
- COMPLIANCE-HEVY DUTY WOOD PRESERVATION PART 3/9. Chemicals Used Wood Preservation. <http://www.pyr.ec.gc.ca/ep/enforcement/96h.htm>.
- CONRAD FOREST PRODUCTS. What is Wolmanized®, pressure-treated wood? <http://www.conradwp.com/wolman.htm>. 05/07/2001.
- COROTHIE, H. 1967. Estructura anatómica de la Guayana Venezolana y clave para su identificación, Ministerio de Agricultura y cría. Universidad de los Andes, Mérida Venezuela. 125 p.
- ✓ CRAWFORD, D. M; R. C. DEGROOT; J. B. WATKINS; H. GREAVES; K. J. SCHMALZL y T. L. SYERS. 2000. Treatability of U.S. wood species with pigment-emulsified creosote. Forest Products Journal. 50(1):29-35.
- CSA080 Wood preservation standards by commodity http://www.citw.org/using_specifying/industrial/standards.htm. 05/07/2002.

DEGROOT, R.C., L.R. GJOVICK; D. CRAW FORD y BESSIE WOODWARD. 1998. Field durability of CCA- and ACA- treated plywood composed of hardwood and softwood veneers. *Forest Products Journal*. 48(2):76-82.

✓ DEON, G. 1989. *Manual de Preservação das Madeiras em Clima Tropical*. organisation internationale des bois tropicaux y Centre technique Forestier tropical. França. 116 p.

DUNCAN, G. A. y J. N. WALKER. 2002. Preservative treatment of Greenhouse wood. <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/aen/aen6/aen6.htm>.

ECHENIQUE-MANRIQUE, R. 1970. 25 maderas tropicales mexicanas. Serie Maderas de México Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México. 237 p.

ENVIRONNEMENT CANADA <http://www.pyr.ec.gc.ca/ep/enforcement/96h-3.htm>. 05/07/2001

ERDOIZA S., J. J. y I. CASTILLO M. s/f. Técnicas para la determinación de la retención y penetración de las sustancias preservadoras dentro de la madera. La madera y su uso 20. Boletín Técnico. LACITEMA. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. México. 31 p.

ERDOIZA S., J. J. y I. CASTILLO M. s/f. Susceptibilidad de impregnación con preservadores de cincuenta especies maderables mexicanas. La madera y su uso 22. Boletín Técnico. LACITEMA. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver. México 17 p.

FAHLSROM, G. B., P. E. GUNNING y J. A. CARSOL. 1967. A study of influence of composition on leach ability. *Forest. Products Journal*. 17(7): 17-22.

FEIST W. C. y R. SAM WILLIAMS. 1991. Weathering durability of chromium – treated southern pine. *Forest Products Journal*. 41(1):8-14.

FORESTRY INSIGHTS, wood preservation. http://www.insights.co.nz/products_processes_wpre.asp. 09/10/2003.

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

FUENTES S., M. s/f. Apuntes para el curso de tecnología de la madera I. Serie de apoyo académico No. 33. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 97 p.

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

- GRUETZMAN, S. 1967. Creosote retention decay poles. Technical note. Forest Products Journal. 17(2):47.
- HEALTHY BUILDING. Arsenic Fact Sheet <http://www.healthybuilding.net/ccafacts.html>. 12/12/2001.
- HÄGER, B. 1969. Leaching tests on Copper- Chromium- Arsenic preservatives. Forest Products Journal. 50(1):29-35.
- HEAT, CANADÁ (2001). Fact sheet on chromated copper arsenate (CCA) treated wood <http://www.hc-sc.gc.ca/pmra-arla/>.
- HIGHLEY, T. L AND C. SCHEFFER. 1998. Long-term appraisal of-site preservative treatments for preventing decay in exterior woodwork. material und organisms. Duncker Humblot. Berlin 29-40.
- HUERTA. C. y J. BECERRA. M. 1982. Anatomía microscópica y algunas características físicas de diecisiete maderas tropicales mexicanas. Bol. Divul. No. 46. INIF-SFF-SARH. México. 61 p.
- JOHANSON, R. y A. DALE. 1973. Arsenic on the surface of round pine treated with Cu-Cr-As preservative. Hlzforschung. Bd. 27(6):187-189.
- KAMDEM, P. y P. CHOW. 1999. The effect of pressure on retention and bending properties of copper naphthenate and CCA type C treated hardwoods. Wood and Fiber Science. 31(2):128-135.
- KAMDEM, P., J. H. HART. y BERHR. 1998. Field performance of CCA type C on-pressure treated northern white cedar (*Thuja occidentalis* L) sapwood. Forest. Products Journal. 48(2):49-51.
- ✓ KILMER, W., P. BLANKENHORN., P. LABOSKY JR. y J. JANWIAK. 1998. Laminating creosote-treated hardwoods. Wood and fiber science. 30(2):175-184.
- KRIBS, A. D. 1968. Commercial foreign woods on the American market. Dover Publication. New York. 241p.
- ✓ KUMAR, S., R. P. SHARMA., P. B. DOBRIGAL y B. B. CHAMBEY 1990. Pressure impregnation of hardwood: treatment schedules for easy-to-treat Indian hardwood. Wood and fiber science. 22(1):3-9.
- MACHUCA V, R., BORJA DE LA R. A., ZAMUDIO S. F. y BARCENAS P. G. 1999. Propiedades tecnológicas de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Edo. de Veracruz. México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 5(2):123-129.

- MALDAS, C. D. y P. KAMDEM. 1998. Surface tension and wettability of CCA-treated Red maple. *Wood and fiber science*. 22(1):3-9.
- MANBECK, B.H.; R. K. SHAFFER; J. J. JANOWIAK; P. R. BLANKENHORN; P. LABOSKY; R. T. BAILEYS y D. A. WEBB. 1995. Creosote treatment effect on hardwood, glulam beam properties. *Wood and fiber science* 27(3):239-249.
- MORALES, V. A., M. CASTRO G. y P. AVENDAÑO M. 1987. Manual de identificación macroscópica de 50 especies maderables Nicaragüenses. IRENA. Managua, Nicaragua 115p.
- ✓ MATURBONGS, L. y M. H. SCHEIDER. 1996. Treatability and CCA preservative distribution within ten Indonesian hardwoods. *Wood and fiber science*. 28(2):259-267.
- MUNSON, M. J. y D. P. KANDEM. 1998. Reconstituted particleboards from CCA-treated red pine utility poles. *Forest Products Journal*. 48(3):55-62.
- NORDIC WOOD PRESERVATION COUNCIL-(NWPC). 2001. Wood preservatives approved by the Nordic wood preservation council. No.63. Swedish University of Agricultural Sciences. Upsala, Sweden. 4 p.
- ONNCCE. 2000. Norma Mexicana NMX-C-178-2000-ONNCCE. Industria de la Construcción-Preservadores para Madera-Clasificación y Requisitos. Organismo Nacional y Certificación y Edificación, S.C. México, D.F. 9 p.
- ONNCCE. 2003. Proyecto de Norma Mexicana NMX-C-322-ONNCCE-2003. Industria de la Construcción-Madera Preservada a Presión-Clasificación y Requisitos. Organismo Nacional y Certificación y Edificación, S.C. México, D.F. 5 p.
- ORTEGA, F. L. GUERRERO; F. CARMONA y C. CORDOVA. 1992. Anatomía de la madera de veintiocho 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* 19. México. 206 p.
- ORTEGA, F.; I. CASTILLO. y T. CARMONA. 1991. Anatomía de la madera de veintiséis 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* 26. México.
- PEREZ O, C.; T. CARMONA y A. ROGEL. 1980. Estudio anatómico de la madera de 43 especies tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. *Boletín Técnico* No. 63. México. 275 p.

PEREZ O, C. 1985. Características anatómicas de siete especies del genero *Quercus*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Boletín Técnico No. 123. México. 63 p.

✓ PRESTON, A. F. 2000. Wood preservation: Trends of today that will influence the industry tomorrow. *Forest Products Journal* 50(9):12-19.

QUIÑÓNEZ O, J. O. 1974. Características físicas y mecánicas de la madera de 5 especies mexicanas. SAG-SFF. INIF. Bol. Téc. No. 42. México. 21 p.

RICE, R. W y M. D'ONOFRIO. 1996. Longitudinal gas permeability measurement from eastern white pine, red spruce, and balsam fir. *Wood and Fiber Science*. 28(3):301-308.

RUDDICK, J., K. YAMAMOTO y G. HERRING. 1994. The influence of accelerated fixation on the stability of chromium (V) in CCA-treated wood. *Holzforschung* 48:1-3.

RUDMAN, P.; L. HENDERSON; D. F. MCCARTHY y E. A. BOWERS. 1963. The impregnation of green *Pinus radiata* D. Don with an unfixed water-borne preservative by steam-vacuum drying and intermittent pressure treatment. *Journal of the Institute of Wood Science* 11:45-56.

SAS, INSTITUTE INC. 1999. SAS., Versión 8. SAS., Institute Inc. Cary, North Carolina. E.U.A.

SCHULZ, H. y O. K. N. V. GROTHUSS. 1968 Investigación de Algunas Especies Arbóreas de los Bosques Tropicales de México. *Revista MEXICO Y SUS BOSQUES Época III* No.23:9-17 p.

SCHULZ, H. y O. K. N. V. GROTHUSS. 1968 Investigación de Algunas Especies Arbóreas de los Bosques Tropicales de México 2ª parte. *Revista MEXICO Y SUS BOSQUES Época III* No.23:4-21p.

SATTAR M. A. 1975. Effect of kiln-drying on distribution of BFCA preservatives. *Forest Products Journal* 25(6):46-50.

✓ SIAU, J F. 1971. Flow in wood. Syracuse University Press. Syracuse, N.Y. 131 p.

SOLO, G. H.; J. PENHA; V. CATILU; T. TOWNSEND y T. TOLAYMAT. 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, FL. U.S. 54 p.

TAMARIT, U. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2(2):29-41.

- USDA. Forest Service, Forest products laboratory <http://www.fpl.fs.fed.us.tmu> marzo 2001.
- VICK, B. C. y T. A. KUSTER 1992. Mechanical interlocking of adhesive bonds to CCA-treated southern-pine a scanning electron microscopic study. *Wood and Fiber Science*. 24(1):36-46.
- WANG, J. Z. y R. DEGROOT. 1996. Treatability and durability of heartwood. National conference on wood transportation structures. October 23-25. Madison WI.
- WINANDY, J. E. 1995. Effect of moisture content on strength of CCA-treated lumber. *Wood and Fiber Science*. 27(2):168-177.
- WOOD, SOUTHERN AFRICA. Wood Preservation Makes Good Conversation. Diciembre 2000.
- ZAHORA, A. R. AND MORELL, J. J. 1989. Diffusion and sorption of the fumigant methylisothiocyanate in Douglas-fir wood. *Wood and Fiber Science*. 21(1):55-66.

8. ANEXOS

ANEXO 1.

✓ Cuadro 38. Índices de susceptibilidad de impregnación con base en la penetración alcanzada. (Pérez, 1983).

GRUPO	PENETRACIÓN Área penetrada en %
1) Permeable	90 al 100
2) Moderadamente resistente	50 al 89.9
3) Resistente	10 al 49.9
4) Extremadamente resistente	Menos del 10

✓ Cuadro 39. Facilidad de impregnación de la madera basada en la retención alcanzada (Pérez, 1983).

Retención (kg/m³)	Nivel
< 120	Difícil de impregnar
120 - 240	Impregnable
> 240	Fácil de impregnar

ANEXO 2. Solución indicadora de la penetración de Sales CCA. (ONNCCE, 2000).

Reactivos químicos

- a) cromo-s-azurol
- b) acetato de sodio

Material

- a) aspersor
- b) vasos de precipitado

Preparación de la soluciones

- a) Solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio: disolver 0.5 g de cromo-s-azurol y 5 g de acetato de sodio en 80 ml de agua destilada, finalmente se diluye todo a 500 ml.

Procedimiento

Con la ayuda de un aspersor, aplicar la solución de cromo-s-azurol-acetato de sodio a las superficies tratadas, evitando escurrimiento; la aparición de un color azul oscuro revela la profundidad alcanzada por el cobre en la madera.

ANEXO 3. Solución indicadora de la penetración de PCP. (ONNCCE, 2000).

Reactivos químicos

- a) acetato cúprico
- b) alcohol isopropílico
- c) acetato de plata
- d) tergitol XD (fabricado por Unión Carbide chemical Company) o Triton X-100
(procesado por Rohn & Heas Chemical Company)

Material

- a) aspersor
- b) vasos de precipitados, probetas
- c) balanza analítica

Preparación de soluciones

- a) Solución 1: Disolver 4 g de acetato cúprico en 100 ml de agua destilada. Una vez disueltos, agregar 0.5 g de tergitol XD (sustancia semisólida a temperatura ambiente, por lo que se debe aplicar calor para tenerla en estado líquido), lentamente y con agitación hasta su completa disolución.
- b) Solución 2: Disolver 0.4 g de acetato de plata en 100 ml de agua destilada, lentamente y con agitación.

Una vez preparadas estas soluciones se combinan en las siguientes proporciones:

	Volumen %
Solución 1	25
Solución 2	25
Agua destilada	25
Alcohol isopropílico	25
Total	100

Procedimiento

La solución se aplica a la madera libre de aserrín o polvo con la ayuda de un aspersor. La aparición de una coloración roja, nos indica la profundidad alcanzada por el preservador en la madera.

Anexo 4. Programa en SAS.

```

data a;
input esp trat trat1 prod prob abs ret pen;
cards;
1 1 1 1 1 505.00 12.63 10.00
1 1 1 1 1 477.75 11.94 10.00
1 1 1 1 1 553.50 13.84 10.00
. . . . . . . .
. . . . . . . .
. . . . . . . .
. . . . . . . .
9 6 2 3 8 117.50 117.50 0.00
9 6 2 3 9 106.25 106.25 0.00
9 6 2 3 10 111.50 111.50 0.00
;
PROC PRINT;
PROC GLM; CLASS ESP TRAT;
MODEL ABS=TRAT;
MEANS TRAT/lsd LINES;by esp;
RUN;

```

Anexo 5.

Cuadro 40. Absorciones mínimas del preservador de acuerdo al grado de riesgo en servicio de la madera. Según Norma: NMX-C-322-ONNCCE-2003.

NIVEL	CEROSOTA (l/m ³)	PCP al 5 % (l/m ³)	Sales CCA al 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	1600.00