



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Impregnabilidad de la madera de
*Eucalyptus nitens***

Patrocinante: Sr. Roberto Juacida P.

Trabajo de Titulación presentado
como parte de los requisitos para optar
al Título de **Ingeniero en Maderas.**

VERÓNICA NOLVIA SALAS LANGER

VALDIVIA

2005

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida Percaz	7,0
Informante:	Sr. Silvana Mariani Álvarez	6,5
Informante:	Sr. Aldo Rolleri Saavedra	6,3

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Roberto Juacida P.

A mi madre y a mi padre

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por las bendiciones recibidas.

Quiero agradecer a la Sra. Silvana Mariani por su gran apoyo en la realización de éste trabajo.

Agradezco también al Sr. Roberto Juacida y al Sr. Marco Torres por su apoyo, colaboración y valiosos consejos durante la realización de este trabajo.

Un agradecimiento al Sr. Guido Muñoz, al Sr. Manuel Castro y al Sr. Andrés Loaiza por su buena disposición en la preparación del material que se utilizó en la realización de este estudio.

Ay, de todo cuanto conozco y reconozco entre todas las cosas es la madera mi mejor amiga. Yo llevo por el mundo en mi cuerpo, en mi ropa aroma de aserradero. Fragmento de Oda a la Madera. Pablo Neruda.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes anatómicos del eucalipto	3
2.2 Antecedentes de la especie a utilizar	4
2.2.1 <i>Estructura Anatómica</i>	4
2.2.2 <i>Diferencia entre albura y duramen</i>	5
2.2.3 <i>Permeabilidad</i>	6
2.3 Movimiento del agua en la madera	6
2.4 Antecedentes de impregnación	7
2.4.1 <i>Influencia de anatomía física de la madera</i>	7
2.4.2 <i>Influencia del vacío y la presión</i>	8
2.4.3 <i>Humedad de la madera</i>	9
2.4.4 <i>Solución Impregnante</i>	10
2.5 Necesidad de impregnar	10
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	11
3.1 Material	11
3.1.1 <i>Procedencia de la madera</i>	11
3.1.2 <i>Dimensión probetas de madera</i>	11
3.1.3 <i>Equipos</i>	12
3.2 Variables de ensayo	12
3.2.1 <i>La madera</i>	12
3.2.2 <i>Aplicación de presión</i>	14
3.2.3 <i>Impregnantes</i>	14
4. METODOLOGÍA	15
4.1 Tamaño de la muestra	15
4.2 Preparación de muestras	15
4.2.1 <i>Sellante</i>	16
4.3 Proceso de impregnación	16
4.3.1 <i>Intensidad de presión</i>	16
4.4 Control de variables de Impregnabilidad	17
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1 Análisis estadístico	18
5.2 Análisis de absorción	21
5.2.1 <i>Análisis fórmula-tiempo</i>	23
5.2.2 <i>Análisis dirección-madera</i>	24
5.2.3 <i>Análisis dirección-tiempo</i>	25
5.2.4 <i>Análisis madera-tiempo</i>	27
5.3 Análisis de penetración	27
5.3.1 <i>Análisis fórmula-tiempo</i>	29
5.3.2 <i>Análisis dirección-madera</i>	30
5.4 Relación entre absorción y penetración	32
5.4.1 <i>Relación en la dirección radial</i>	32
5.4.2 <i>Relación en la dirección longitudinal</i>	34
6. CONCLUSIÓN	34
7. BIBLIOGRAFÍA	35

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este estudio es determinar la impregnabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens* con tres impregnantes hidrosolubles, definiendo las mejores condiciones de tratamiento de las diferentes variables involucradas en el proceso.

Las variables a medir son la absorción, retención y penetración obtenidas bajo las condiciones de tratamiento referidas a: tiempo de presión (2, 4 y 8 horas), diferenciación en las direcciones de penetración (radial, tangencial y longitudinal), así como en el tipo de madera (albura y duramen). La intensidad de vacío y presión se mantuvo constante.

El estudio entregó diferencias significativas entre dirección radial y longitudinal, así como entre tangencial y longitudinal, respecto del tipo de madera, existe diferencia entre albura y duramen. En relación a los tipos de impregnante, existe diferencia entre las formulaciones de distinta composición química.

Los valores de absorción, retención y penetración en la dirección longitudinal en madera de albura son mayor que en duramen, con una relación de 2:1. La relación entre absorción y penetración es mejor explicada por probetas de dirección longitudinal que radial, ya que el coeficiente de relación en la dirección longitudinal es de 0,93 y en la radial de 0,72.

Los valores de retención están dentro de los rangos normales obtenidos por otros investigadores, al igual que los valores de penetración radial y tangencial, ya que estos fueron mínimos, del orden del 3% respecto del área total de la probeta.

Palabras clave: Impregnabilidad, absorción, retención, penetración, *Eucalyptus nitens*

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del país, el Eucalipto es una de las especies exóticas de mayor importancia en Chile, ya que en la actualidad existen aproximadamente 390 mil hectáreas de plantaciones, las cuales se incrementan año a año y están distribuidas entre la VI y la X Región. De estas plantaciones, un tercio corresponde a *Eucalyptus nitens*, y la razón de esta cifra radica en que es una especie de fácil adaptación a los suelos de esta zona, de rápido crecimiento y muy resistente a las bajas temperaturas. INFOR (2004)

De lo anterior emana la razón del estudio, que es lograr dar una mayor vida útil a la madera en servicio de esta especie, lo cual será una contribución en la búsqueda de alternativas de uso que le den un mayor valor agregado, diferente del uso que se le da actualmente a la madera de *Eucalyptus nitens*, que es principalmente usada en la fabricación de celulosa.

Llama la atención la cantidad de árboles que deben ser raleados a temprana edad en las plantaciones de esta especie, lo que se traduce en interesantes volúmenes de producción, los cuales podrían ser utilizados como rodrigones o estacas, generando así opciones de productos alternativos a los utilizados en la fabricación de celulosa. Igualmente, y como consecuencia de los procesos de debobinado de árboles de mayor diámetro se puede obtener grandes volúmenes de rolletes residuales posibles de utilizar como cabezales y estacones. De todas formas, estos productos deben ser sometidos a procesos de impregnación para alargar su vida útil. Por otro lado, la falta de experiencia en Chile con respecto a la impregnación de *Eucalyptus nitens* hace determinante buscar opciones de tratamiento que definan sus posibilidades de uso en ambientes de riesgo en que la durabilidad natural se ve sobrepasada y sea necesaria su impregnación.

Uno de los aspectos indicadores de la importancia de analizar la capacidad de impregnación de esta especie se refiere a su durabilidad natural, la cual es media a baja, es decir, sin tratamiento de protección alguno y enterrada en el suelo no resistiría más de 5 años. Fundación Chile (1989). Es por eso que si se desea poner en contacto con la tierra será necesario otorgarle mayor duración a través de procesos de impregnación de vacío y presión, con protecciones hidrosolubles que son aquellas de mayor consumo en los mercados de estacas y polines.

La falta de conocimientos adecuados acerca de la preservación de la madera entre los productores y consumidores que utilizan este material, han tenido como consecuencia la pérdida de grandes cantidades de maderas, que por naturaleza no son resistentes al ataque de los agentes biológicos destructores de ellas, lo que sustenta la razón de la impregnación de la madera antes de ser utilizada en procesos de transformación.

En este sentido, el tema central está relacionado con la permeabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens*, característica fundamental para su utilización y comercialización. Esta permeabilidad se traduce en la capacidad de absorber y

retener soluciones que darán mayor durabilidad, profundidad, rapidez y facilidad con que penetra la solución desde la superficie hasta el centro de la madera; demostrando también como afectan a la permeabilidad variables como, tiempo de presión y soluciones de sales utilizados en el proceso de impregnación emanando datos necesarios para determinar el nivel de permeabilidad.

En las especies que presentan un duramen de fácil diferenciación generalmente existe una variación en su permeabilidad en relación a su respectiva albura. Esta disminución de la permeabilidad en duramen tiene su origen en depositaciones en los lúmenes celulares, obstrucción de las punteaduras, y el desarrollo de tilosis en los vasos principalmente. La madera de duramen no sólo es más oscura, sino también más densa, al contrario de la albura que es blanco amarillenta, más porosa, menos densa y de menor durabilidad natural.

Una de las aplicaciones de este estudio es entregar antecedentes necesarios que permitan tanto a productores como consumidores utilizar este material con mejores perspectivas de ingreso.

Cada uno de los antecedentes mencionados han llevado a plantearse ensayos de permeabilidad que tiene como:

Objetivo general:

- Determinar la impregnabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens* con tres impregnantes hidrosolubles, definiendo las mejores condiciones de tratamiento de las diferentes variables involucradas en el proceso.

Objetivos específicos:

- Establecer valores de absorción para distintos impregnantes según albura y duramen, en sentido radial, tangencial y longitudinal con un proceso común.
- Determinar absorción en función del tiempo de aplicación de presión, definiendo mejores condiciones, y analizar comparativamente los valores de absorción, retención y penetración obtenidos en el uso de tres impregnantes, dando a conocer el mejor de ellos.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes anatómicos del eucalipto

El eucalipto es una especie latifoliada, por lo que es de estructura relativamente simple, con una diferenciación de anillos de crecimiento poco visible cuyo tejido prosenquimático tiene vasos, fibras y radios leñosos, los vasos son llamados poros en el campo de cruza. La función de los vasos es la conducción de fluidos a lo largo del fuste, los cuales se comunican entre ellos mediante las punteaduras. Los radios leñosos contribuyen a la permeabilidad en sentido radial. Siau (1984).

En las latifoliadas la madera temprana está constituida por células anchas y de pared delgada, y la madera tardía es de células estrechas y pared gruesa. Kollmann (1959)

En la mayoría de las especies de eucalipto los elementos celulares son de similares dimensiones entre las distintas especies, para ello se describirá las características de diámetro, largo y volumen de madera que ocupan dentro del árbol los distintos elementos celulares como las fibras, los vasos, los radios leñosos, el parénquima axial y las traqueidas vacicéntricas.

Las fibras (fibrotraqueidas) tienen un diámetro que varía entre 10 y 20 μm , un largo de 0,8 a 1,3 mm y ocupan más del 60% del volumen de madera. Los vasos se presentan solitarios o difusos, 80 μm a 180 μm de diámetro y ocupan entre el 10% a 20% del volumen de madera. Radios leñosos se presentan seriados de 1 a 3 células en el ancho y menos de 20 células de altura, ocupan entre el 10% al 20% del volumen de madera. Parénquima axial, presenta apotraqueal y paratraqueal y ocupa menos del 10% del volumen de madera. Traqueidas vacicéntricas ocupan menos del 2% del volumen de madera.

Así como existen zonas de similares características existen otras que difieren de las características anatómicas comunes de una especie, esto queda reflejado ya que en el centro del árbol se encuentra una zona que puede ser definida como madera juvenil donde la mayoría de las características anatómicas son diferentes.

Otro aspecto que produce una diferencia entre las distintas zonas de la madera es el hecho de que durante los primeros 10 a 20 años de crecimiento se registran marcados incrementos en diámetro de un 10%, espesor de pared en un 30% y largo de fibra en un 50%, similares incrementos ocurren en el diámetro y largo de los vasos, el que es de un 50%.

La variación en la anatomía de la madera en sentido longitudinal aparentemente no es tan compleja ni diversa como lo son las variaciones en la anatomía de la madera en sentido radial.

Se ha encontrado variación en la anatomía de la madera de eucalipto entre árboles de una misma especie y en el tronco. Se pueden encontrar variaciones en el largo de la fibra y densidad básica entre árboles vecinos de la misma edad, estas variaciones pueden fácilmente ser de 25% y 50% respectivamente. Wilkes (1988)

2.2 Antecedentes de la especie a utilizar

Nombre científico: *Eucalyptus nitens* Shining Gum

2.2.1 Estructura Anatómica

Los elementos responsables de la conducción de los líquidos en sentido longitudinal son los vasos en latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. Los vasos se comunican entre ellos mediante las punteaduras, y longitudinalmente mediante las placas de perforación.

La conducción en el sentido radial se efectúa a través de los radios leñosos. El paso del líquido entre células se realiza a través de las punteaduras y especial importancia tienen en el campo de cruce, es decir en el encuentro de los vasos en sentido longitudinal con los radios en sentido transversal. El diámetro de los vasos de madera temprana de latifoliadas son generalmente entre 50 μm y 400 μm . El diámetro de los vasos de madera tardía son generalmente entre 20 μm y 50 μm . Siau (1984)

Gran cantidad de las soluciones acuosas fluyen a través de la punteaduras, aun cuando muchas de ellas se encuentren obstruidas. Existe también algún intercambio a través de la pared celular, pero en mucho menor grado. Rudman (1966)

Las punteaduras en latifoliadas generalmente no tienen torus y son más pequeñas que en coníferas. La tilosis puede dificultar el flujo a través de los vasos. Tilosis son membranas celulares, las cuales entran en los vasos desde células parenquimáticas adyacentes a través de punteaduras pareadas. Siau (1984)

Wardrop y Davies (1961) encontraron vasos de duramen de *E. regnans* cerrados por tilosis.

Según estudios realizados en Nueva Zelanda el año 2000 *E. nitens* tiene un largo de fibra de 0,78 mm un ancho de fibra de 12,4 μm y un espesor de fibra de 6,6 μm para muestras de 15 años de edad y un largo de fibra de 0,95 mm, un ancho de fibra de 14,1 μm , un espesor de fibra de 7,4 para muestras de 16 años de edad. Kibblewhite *et al.*, (2000b). Según otro estudio realizado en el mismo país muestra que el *E. nitens* a los 8 años tiene un largo de fibra de 0,82 mm, y a los 11 años tiene un largo de fibra de 0,88 mm Kibblewhite *et al.*, (2000a)

Según un estudio realizado por Bioforest en Chile el largo de fibra del *E. nitens* aumenta a medida que aumenta la edad de los árboles muestreados, esto se puede observar claramente ya que se tomo árboles de 5 a 7 años de edad los cuales arrojaron un largo de fibra promedio de 0,62 mm, las muestras de 8 a 10 años dieron un largo de fibra de 0,66 mm promedio y la última muestra de árboles de 11 a 13 años de edad, el largo de fibra fue de 0,77 mm. Se observa claramente que la morfología de los *E. nitens* depende de la edad y posición del fuste.

La capacidad de absorción de la especie se ve influenciada por todos aquellos compuestos que se encuentran en los lúmenes celulares y que mediante una extracción en agua o alcohol pueden ser removidos de la madera. Juacida (1991)

Según un estudio realizado el año 1999 con muestras de *E. nitens* de 8 años de edad, los cuales fueron tomados de plantaciones de CMPC, el contenido de extraíbles que presentan las muestras es de 0,4 %. Escalona *et al.*, (1999)

El contenido de extraíbles en la madera de *E. nitens* aumenta a medida que aumenta la edad del árbol, teniendo un contenido promedio de extraíbles de 0,43% a los 7 años y un 0,72% a los 13 años. Peredo (2000)

La densidad comúnmente aumenta con la altura, y en algunas ocasiones tiene una disminución de densidad en la base. Para especies que crecen en Chile la densidad básica de *E. nitens* de 8 años es de 412 kg/m² según los resultados del ensayo de pulpage y blanqueo de madera de eucaliptos. Melo *et al.*, (1991)

La densidad básica del *E. nitens* aumenta a medida que aumenta la edad, obteniendo una densidad promedio a los 13 años de 472 kg/m² . Peredo (2000)

Para ensayos en muestras de *E. nitens* de plantaciones de Nueva Zelanda, la densidad obtenida también muestra un aumento con el aumento de la edad de los árboles, siendo la densidad promedio a los 16 años de 556 kg/m² .Kibblewhite *et al.*, (2000b)

2.2.2 Diferencia entre duramen y albura

En algunos árboles, la parte interna del tronco, “duramen” se distingue claramente por su color más oscuro que la zona clara que lo rodea exteriormente, llamada “albura”. La causa fisiológica de la formación del duramen consiste en que el árbol, a medida que va envejeciendo solo necesita los anillos anuales más extremos para la conducción de savia y el suministro de las sustancias alimenticias, y por ello la madera va perdiendo su actividad vital. La formación del duramen se caracteriza por algunas modificaciones anatómicas: en las latifoliadas se forma tilosis, que son expansiones vesiculares procedentes de las células del parénquima, que penetran en los vasos próximos y los obstruyen por completo. La formación del duramen se ve acompañada por algunos fenómenos químicos, en el caso de las latifoliadas el duramen coloreado contiene más resinas y aceites que la albura; estas sustancias penetran, en parte, en los intersticios micelares. En muchas maderas el duramen contiene sustancias solubles en agua, entre hidratos de carbono y polisacáridos, alcaloides y taninos que al oxidarse le dan su característico color oscuro. La riqueza del duramen en cenizas y nitratos es en general bastante inferior a la de la albura. El duramen contiene también sustancias solubles en agua, como taninos y materias colorantes, encontrándose además con frecuencia, sustancias minerales, como carbonato y oxalato cálcico y ácido silícico. Kollmann (1959)

H. W. Johnston y O. Maass dicen que el flujo a través de la albura se realiza con velocidad cien veces mayor que a través del duramen, siendo del mismo orden de magnitud la relación entre penetrabilidad axial y la radial o tangencial, pero realmente estos valores no pueden generalizarse. H. D. Erickson encontró que al impregnar a presión pequeños bloques de madera seca, la permeabilidad a lo largo de las fibras en la madera de albura podía ser un millón de veces mayor que en la dirección transversal, y en duramen, podía ser cincuenta mil veces mayor. Kollmann (1959)

2.2.3 Permeabilidad

En las especies que presentan un duramen de fácil diferenciación generalmente existe una variación en su permeabilidad en relación a su respectiva albura. En cambio en especies que no presentan una diferenciación visual entre zonas de albura y duramen se observa normalmente un comportamiento frente al movimiento de líquido muy similar. Esta disminución de la permeabilidad en duramen tiene su origen en depositaciones en los lúmenes celulares, obstrucción de las punteaduras, el desarrollo de tilosis en los vasos. Dentro de las especies que crecen en Chile y que presentan una significativa diferenciación de la permeabilidad de su albura y duramen se encuentran coigue, roble, eucalipto, lingue y tineo. Juacida (1991)

El movimiento forzado de líquidos transversalmente a la fibra, ya sea en dirección radial o tangencial, tiene que vencer la resistencia de muchos tabiques celulares en una distancia corta. La obturación producida por tilosis dificulta también considerablemente la impregnación. Kollmann (1959)

En latifoliadas de porosidad circular la tilosis se presenta en mayor proporción que en latifoliadas de porosidad difusa. Kollmann (1959)

La profundidad de penetración en la madera, que es la que decide en la práctica la eficacia de la protección, depende de: especie, dirección de las fibras, humedad de la madera (con madera seca, por consiguiente depende de la duración del humedecimiento), contenido de resina, variación del peso específico dentro de la pieza, clase y concentración del medio protector y la adición de algún coloide a la solución impregnante.

2.3 Movimiento del agua en la madera

El movimiento de los fluidos en el interior de la madera a través de los elementos celulares se realiza básicamente por dos principios, que son el de capilaridad y el de difusión. El movimiento en los capilares llenos se origina por la diferencia entre las tensiones superficiales en los meniscos de los capilares. Si existe en un mismo capilar un menisco descargado (cóncavo) y uno no descargado (convexo) debido a que mientras se evapora la humedad en el menisco descargado, se condensa en el otro, la diferencia de tensión provocará el movimiento de líquidos. Si existe una red de capilares anastomosados* de distintos diámetros, en los meniscos descargados

* Unión formada por elementos anatómicos con otros elementos anatómicos del mismo vegetal.

actuarán fuerzas de diferente magnitud y la tracción será tanto mayor, cuanto más estrechos sean los capilares, deduciendo, por tanto, que los capilares estrechos succionarán el agua de los más anchos. El agua condensada es impulsada en los capilares llenos por las diferencias de tensión existentes entre los meniscos. Por debajo del punto de saturación de fibra, la difusión influye en el movimiento capilar del agua libre y lo frena. Kollmann (1959)

Se llama osmosis al proceso de difusión a través de una pared (membrana) semipermeable. Si entre dos líquidos o gases, en mutuo intercambio de difusión, se encuentra una pared de separación, existirá en general entre ambas caras una diferencia de presión (presión osmótica) esto se da también en la estructura capilar de la madera ya que son permeables para el agua y las moléculas de ciertas sales, y éstas últimas encuentran mayor resistencia para su difusión.

2.4 Antecedentes de impregnación

La impregnación de maderas por presión consiste casi exclusivamente, en los movimientos de líquidos a través de las cavidades celulares, puesto que con los aceites impregnantes no se realiza ninguna difusión de vapor a través de los tabiques celulares, y con las soluciones salinas acuosas solamente en una proporción muy limitada, hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras. Por lo tanto se trata de una sencilla corriente laminar de un líquido viscoso con velocidad muy pequeña, y a través de capilares sumamente estrechos. Kollmann (1959)

2.4.1 Influencia de anatomía y física de la madera

En la impregnación de madera la presión que hay que emplear depende, en primer lugar del diámetro de los capilares en las membranas de cierre de las punteaduras areolares, pues es ahí precisamente donde hay que vencer las mayores resistencias. Kollmann (1959)

L. F. Hawley considera que la impregnación se efectúa con movimientos discontinuos de la corriente, si se llena el primer lumen celular en un tiempo z (z es el tiempo que tarda el líquido en vencer una serie de punteaduras), para llenar la segunda cavidad celular se necesitará doble tiempo, ya que habrá que pasar, aproximadamente por un número doble de punteaduras. Según L. F. Hawley el tiempo necesario para llenar el primer lumen celular está en relación inversa con la presión. Las experiencias de Mac Lean demuestran que, en general la profundidad de penetración aumenta casi proporcionalmente a la presión; esto puede ser debido a que las membranas de las punteaduras experimentan una cierta dilatación al aumentar la presión, con lo cual disminuirán las resistencias. Por esto tiene gran importancia la costumbre práctica de realizar un vaporizado previo a la impregnación, con lo que se eleva la plasticidad de los tabiques celulares y con ello la dilatabilidad de las membranas de las punteaduras. Simultáneamente, el calor apoya el proceso, disminuyendo la resistencia a la tracción y reduciendo asimismo el equilibrio giroscópico y el hinchamiento. Kollmann (1959)

Algunas maderas de peso específico muy elevado como roble y haya, son fácilmente impregnables, mientras que otras, más ligeras, oponen una gran resistencia a la impregnación. No existe relación entre la profundidad de penetración de los impregnantes y el peso específico de la madera. En lo que si es decisivo el peso específico es en la cantidad de impregnante que puede admitir la madera (absorción), ya que cuanto más densa sea ésta, tanto menor volumen de poros contendrá, y por lo tanto admitirá menor cantidad de impregnante. Mayor influencia que el peso específico aparente la tienen la diferencia entre las maderas de duramen y albura, la constitución de los vasos o de las traqueidas y la existencia de canales resiníferos. La proporción de madera temprana y tardía tiene una gran importancia, pues como la madera temprana es, en general, más difícil de impregnar que la madera tardía, las coníferas de baja densidad, con gran contenido de madera temprana, pueden ser más difícilmente impregnables que otras más densas con mucha mayor proporción de madera tardía. Kollmann (1959)

La absorción en pino insignis es de 400 l/m³ tanto en albura como en duramen, esto lo convierte en una especie fácil de impregnar, en eucaliptos en cambio la absorción en albura y duramen es de 80 l/m³, el pino oregón presenta una absorción de 180 l/m³ en albura y 30 l/m³ en duramen, por lo tanto es una especie no apta para recibir tratamiento de impregnación. Fundación Chile (1992)

2.4.2 Influencia del vacío y la presión

Según Mac Lean, el vacío inicial tiene por objeto eliminar de la madera el máximo de aire posible, para facilitar la entrada de la solución preservante. Según Darrel, la remoción del aire sirve a dos propósitos: reduce el efecto contrario al flujo que ocasiona la presión de ese aire y crea una presión diferencial que tiende a introducir el líquido al interior de la madera. Donoso y Manríquez (1978)

H. W. Johnston y O. Maass deducen que, de acuerdo con la teoría, la velocidad de impregnación crece proporcionalmente a la presión para ensayos en madera verde y en albura. En la madera seca se observó un fuerte aumento, en la velocidad de penetración particularmente cuando se empleaban altas presiones. Si se va aumentando la temperatura, la velocidad de penetración aumenta con mayor rapidez que el inverso de la viscosidad. Empleando agua pura como medio impregnante, se alcanzó un estado de equilibrio independiente del tiempo, de la presión y de la temperatura. En impregnaciones con soluciones salinas acuosas; la penetrabilidad de la madera seca es al principio mayor que en la verde, pero pronto desciende hasta una fracción del valor inicial. Kollmann (1959)

Cuando la presión se aumenta, trae consigo un incremento en la absorción de la madera, pero sólo hasta cierto límite. Un aumento en la presión de un 100% aumenta la penetración en 150% a 200% en el sentido longitudinal. En los sentidos radial y tangencial, también hay una respuesta favorable, pero en menor grado. Erickson y Estep (1962)

En general un aumento en la presión provoca un incremento en la absorción, sin embargo, ésta relación puede verse afectada por factores derivados de la madera o de la solución preservante. Donoso y Manríquez (1978)

En especies nativas como coigüe, tepa, ulmo y olivillo generalmente existe una mayor efectividad en la absorción con la prolongación del tiempo de presión que con un aumento de su intensidad. Juacida (1991)

Impregnación consiste en someter a la madera dentro de un cilindro a un proceso de vacío-presión-vacío, en la primera etapa se realiza un vacío inicial para extraer el aire, en la segunda etapa se aplica el impregnante a presión y en la tercera etapa se retira el exceso de éste, tras un periodo relativamente breve, luego de terminado el proceso, los óxidos contenidos en los preservantes aplicados se fijan en la madera. Se ha determinado que la mayor efectividad del vacío se produce entre los 15 y 60 minutos. Hackbart (1975)

2.4.3 Humedad de la madera

El contenido de humedad de la madera cercano al PSF proporciona un volumen físico a la solución preservante y posibilita fenómenos posteriores de difusión, que mejoran la distribución del producto durante el periodo de reposo post-impregnación. Donoso y Manríquez (1978)

Es necesario que la madera se encuentre en el punto de saturación de fibra, que es donde los lúmenes de los vasos y traqueidas están sin agua pero las paredes celulares todavía conservan la suya. Esto sucede aproximadamente a un 30% de contenido de humedad de la madera. Contardo y Juacida (2003)

Por otra parte Rodolfo Contardo G.G. Maderas ConCon Ltda., afirma que la humedad en la madera no debe ser superior a 28% y en lo posible entre 20% y 25% para lograr una penetración homogénea de las sales de impregnación en la madera y una retención de acuerdo a la norma específica para el producto que se trate.

2.4.4 Solución Impregnante

Es frecuente que puedan penetrar en la madera en dirección radial, medios impregnantes (agua, alcohol) que produzcan hinchazón en los tabiques celulares, pero no en cambio los líquidos no polares como el benzol o el aceite de creosota. Tiene así mismo gran importancia el tamaño de las moléculas, pues por ello los alcoholes superiores no penetran en la madera. Kollmann (1959)

Los solventes polares penetran con mayor facilidad la pared celular que un solvente no polar. Siau (1984)

La constitución química de los distintos impregnantes, su densidad, su poder de difusión, su tensión superficial, su poder de dilución, entre otros factores, hacen que

los preservantes tengan un comportamiento diferente frente a procesos de impregnación equivalentes. Juacida (1991)

En los últimos años han aparecido productos alternativos al CCA, como lo es el CCB (cobre, cromo, boro) ACQ (compuesto cuaternario de cobre amoniacal) CBA (cobre azole) y Cu-HDO. Algunos países como EE.UU., Alemania y Suecia están optando por reemplazar el uso del compuesto de cobre, cromo y arsénico.

Respecto de la composición del CCA, la base química en que se presentan los tres elementos que lo componen son cobre como óxido cúprico (CuO), cromo como trióxido de cromo (CrO_3) y arsénico como pentóxido de arsénico (As_2O_5). Los preservantes CCA se unen químicamente a la madera en una reacción de fijación, que consiste en que el cromo reacciona con los componentes de la madera (azúcares), formando una mezcla de compuestos insolubles involucrando el arsénico y cobre en ellos. La concentración más alta a la que el preservante se puede formular es a un 70% de óxidos activos ya que no se corre el riesgo de que el producto se compacte. Con 100% de óxidos activos el producto sería inestable y prácticamente imposible de aplicar. Fundación Chile (1992)

2.5 Necesidad de impregnar

Actualmente en el mundo la demanda de madera tratada crece sosteniblemente, especialmente en países donde altos porcentajes de las viviendas son de este material, como EE.UU., Canadá, Japón y Nueva Zelanda.

En Chile el uso que se le da a la madera preservada es en polines para viñas, parronales y kiwis, cercos de cierre de campos, parcelas y carreteras, postes de electrificado, telefonía y para la construcción. Ej en Chile durante el año 2000 se produjeron cerca de 360.000 m^3 de madera impregnada.

3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Material

3.1.1 Procedencia de la madera

La totalidad de las muestras de madera corresponden a *Eucalyptus nitens*, provenientes de la zona de Los Angeles, ubicada en la Región del Bio Bio, Chile, de 21 años de edad ya que a ésta edad el árbol ha adquirido una madurez, en la cual es fácilmente identificable y diferenciable la albura del duramen. Para albura se utilizaron 7 árboles y para duramen 5. De cada árbol se consideró tablones de 2" x 8" x 2,8m, de los cuáles se obtuvo las probetas.

3.1.2 Dimensión probetas de madera

Se consideraron probetas de 35 x 35 x 35 mm para los ensayos de penetración radial y tangencial, y para los ensayos de penetración longitudinal se utilizaron probetas de 35mm x 35mm x 150mm, (fig.1)

Este tamaño es el adecuado para poder realizar las mediciones finales, ya que la solución no penetra toda la probeta y es posible distinguir la zona de penetración.

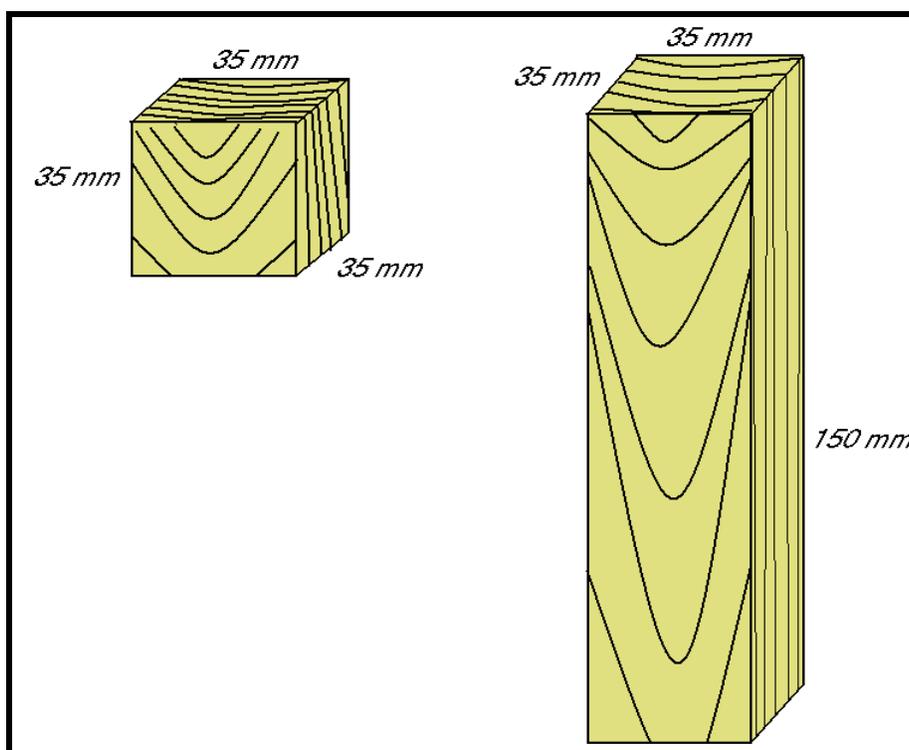


Figura 1. Dimensión de las probetas

3.1.3 Equipos

Los ensayos se realizaron en dos laboratorios

El primero es en Alemania en la empresa Dr. Wolman

- Planta de impregnación de laboratorio
Capacidad del cilindro : 25,7 litros
Presión máxima : 10,5 atm
Vacío máximo : 0,1 atm
- Horno de secado
Marca : HERAEUS instruments
Temperatura máxima : 250°C
- Balanza electrónica (precisión 0,01 g)
- Camara de climatizado
Marca : Vötsch
Modelo : vc 4034-3



Figura 2. Planta de impregnación laboratorio Aleman

El segundo es en Valdivia en el laboratorio de preservación de la Universidad Austral de Chile.

- Planta de impregnación de laboratorio
Capacidad del cilindro : 570 litros
Presión máxima : 21 atm.
Vacío máximo : -1 atm.
- Máquinas del Instituto de Tecnología de Productos Forestales, para la confección de probetas. (sierra circular , cepilladora, y lijadora)
- Medidor de pH
Marca : Corning – pH meter 430

3.2 Variables de ensayo

Las variables de ensayo están relacionadas con: la madera (albura, duramen), proceso (aplicación de presión, tiempo de impregnación, tipo de impregnante). Las respuestas medidas corresponden a: dirección de penetración (radial, tangencial, longitudinal), absorción y retención para zona de albura y duramen.

3.2.1 La madera

Madera zona albura y zona duramen en cortes radial, tangencial y longitudinal, debido a que se analizarán esas tres direcciones de penetración del impregnante.

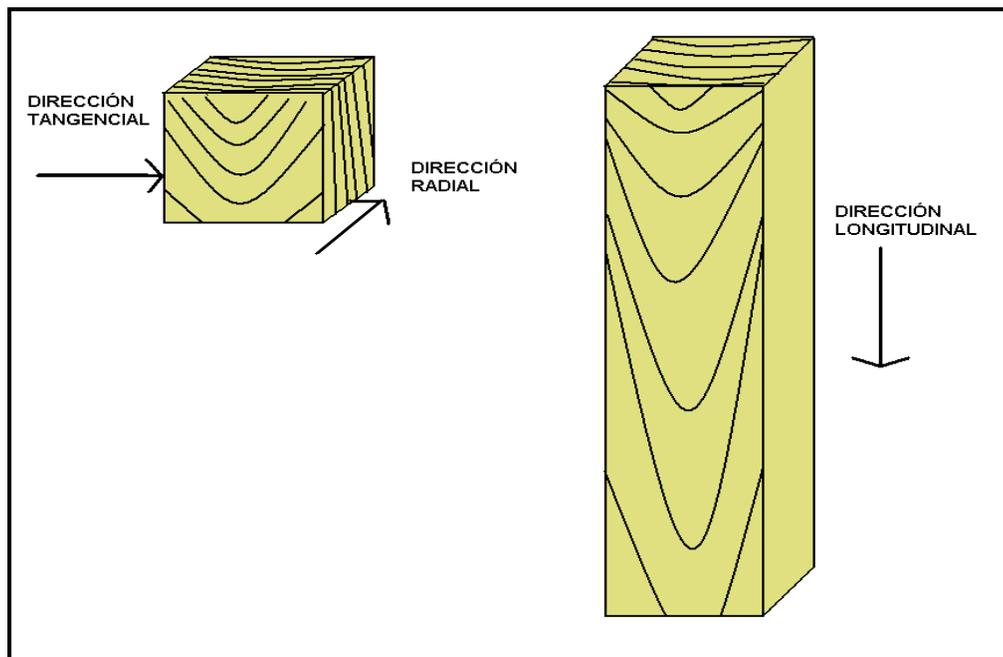


Figura 3. Dirección de penetración

3.2.2 Aplicación de presión

Se realizaron los ensayos variando el tiempo de aplicación de presión del proceso en: 2 horas – 4 horas – 8 horas.

Debido a que son tiempos utilizadas anteriormente por otros investigadores, además se conoció el comportamiento que tiene esta especie al incrementar el tiempo de aplicación de presión al doble de la aplicación anterior.

3.2.3 Impregnantes

Se utilizaron tres tipos de impregnantes

Fórmula A

Wolmanit CX (Cu – HDO concentración de un 2,5% p/v) con un pH de 9,7

Fórmula B

Wolmanit CX + 0,3% de pH estabilizador (Cu – HDO Concentración de un 2,5% p/v) con un pH de 9,7

Fórmula C

CCA (cobre, cromo, arsénico) Concentración 2,5% p/v, con un pH de 2,2

Se utilizaron dos soluciones de composición similar, las que son distintas al tercer impregnante que es CCA, para poder comparar ésta última solución muy utilizada en Chile con el producto Cu-HDO que no contiene arsénico y es utilizada en Alemania.

4. METODOLOGÍA

4.1 Tamaño de la muestra

Para determinar la cantidad de piezas a utilizar se estableció un número de repeticiones por ensayo, 10 para las probetas de absorción radial y tangencial, en el caso de las probetas de absorción longitudinal el número establecido fue 8 probetas, para todos los ensayos se utilizaron probetas radial y tangencial, en cambio la probetas de absorción longitudinal no fueron ensayadas con la solución C. Se consideró un total de 456 probetas, las cuales fueron utilizadas en los distintos ensayos como se muestra en el cuadro 1 y 2.

Solución	Duración de presión	Muestras de Albura		
		Radial	Tangencial	Longitudinal
Fórmula A (Cu – HDO) 2,5% p/v	2 h	10	10	8
	4 h	10	10	8
	8 h	10	10	8
Fórmula B (Cu - HDO 2,5%) + 0,3 pH estabilizador	2 h	10	10	8
	4 h	10	10	8
	8 h	10	10	8
Fórmula C CCA (Cobre, Cromo y Arsénico)	2 h	10	10	0
	4 h	10	10	0
	8 h	10	10	0
Total		90	90	48

Cuadro1. Número de probetas de albura utilizadas para cada proceso

Solución	Duración de presión	Muestras de Duramen		
		Radial	Tangencial	Longitudinal
Fórmula A (Cu – HDO) 2,5% p/v	2 h	10	10	8
	4 h	10	10	8
	8 h	10	10	8
Fórmula B (Cu - HDO 2,5%) + 0,3 pH estabilizador	2 h	10	10	8
	4 h	10	10	8
	8 h	10	10	8
Fórmula C CCA (Cobre, Cromo y Arsénico)	2 h	10	10	0
	4 h	10	10	0
	8 h	10	10	0
Total		90	90	48

Cuadro 2. Número de probetas de duramen utilizadas para cada proceso

4.2 Preparación de muestras

Las basas se separaron entre material de albura y duramen, luego de cada material por separado se seleccionaron probetas para los ensayos radial, tangencial y longitudinal. A continuación las probetas fueron climatizadas para obtener un contenido de humedad de equilibrio de un 12% aproximadamente.

4.2.1 Sellador

Se utiliza para obsturar las probetas por 5 caras con una doble aplicación de sellador, dejando libre la cara por la cual se desea penetre la solución. El objetivo de sellar las probetas es determinar la capacidad de absorción, retención y penetración que tiene la madera en la sección radial si la cara descubierta es la radial, lo mismo se realizó para las caras tangencial y transversal.

Se utilizan dos selladores diferentes debido a que se realizaron los ensayos en dos laboratorios, siendo cada uno de distinto país.

Acrüpox 78 (Epoxi-Harz) y Acrümid 480 (Epoxi-Härter) en la relación 10:6. el que se utiliza para sellar las probetas que seran tratadas con la solución impregnante Cu-HDO.

Transpoxxy formado por dos componentes en la relación 8:1 se utiliza para sellar las probetas que seran tratadas con la solución impregnante CCA

4.3 Proceso de impregnación

4.3.1 Intensidad de presión

Para cada ensayo se mantiene constante el tiempo y la intensidad de presión durante el vacío inicial y vacío final, variando sólo el tiempo durante la aplicación de presión, como se aprecia en la figura 2.

Las condiciones de vacío y presión son :

Vacío inicial 0,1 atm durante 30 minutos,

Presión 10,4 atm

Vacío final 0,1 atm durante 5 minutos.

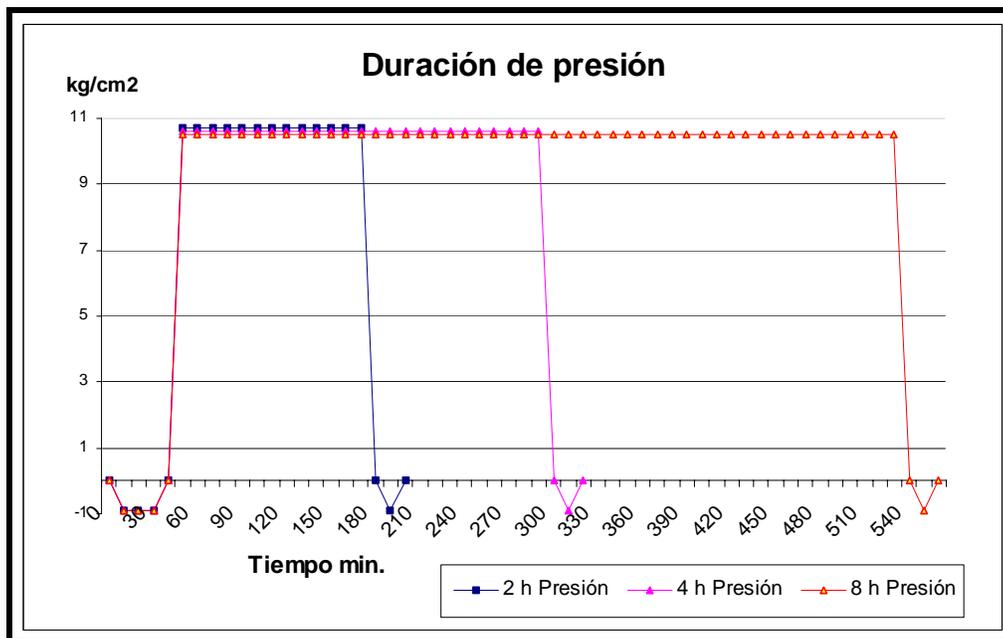


Figura 4. Gráfico de intensidad y duración de presión y vacío durante los ensayos

4.4 Control de variables de Impregnabilidad

Se medirá en términos de Absorción, Retención y Penetración

- Análisis de absorción

$$\text{Absorción (l/m}^3\text{)} = (p_i - p_h) / d / v$$

Donde:

p_i : peso probeta impregnada (kg)
 p_h : peso probeta húmeda (kg)
 d : densidad solución impregnante (kg/l)
 v : volumen de la madera (m^3)

- Análisis de retención

$$\text{Retención (kg/m}^3\text{)} = (p_i - p_h) \times (\%p/p/100) / v$$

Donde:

p_i : peso probeta impregnada (kg)
 p_h : peso probeta húmeda (kg)
 p/p : Concentración del impregnante peso/peso
 v : volumen de la madera (m^3)

- Análisis de penetración

El análisis de penetración se realiza mediante el método indicado en NCh 755.Of1989, la cual se basa en los ensayos de coloración realizados sobre la superficie de las probetas. Para las probetas tratadas con CCA el método consiste en la aplicación de "Cromo AzuroI" a las muestras sometidas al proceso de impregnación, esta aplicación se realiza pulverizando la solución sobre la superficie de madera tratada, un color azul intenso indicará la profundidad de penetración del preservante. Para el caso de las probetas tratadas con Cu-HDO se aplica "4-(2-Pyridylazo) resorcinol monosodium salt monohydrat", un color rojo indicará la profundidad de penetración del preservante.

La forma de cuantificar la penetración es de forma cuantitativa; medición del área de madera que ha revelado presencia de cobre y se presentan los datos como porcentaje de área penetrada.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de impregnación de la especie de *Eucalyptus nitens*, primero se realizó un análisis estadístico para validar los datos y obtener información real respecto de las diferencias entre las medias de los distintos factores y sus niveles, análisis que se presenta a continuación.

5.1 Análisis estadístico

En el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa SPSS versión 10.0 en el cual se realizaron análisis estadísticos descriptivo y análisis de varianza para variables dependientes múltiples. Mediante el análisis de varianza se puede investigar las interacciones entre los factores y también los efectos individuales de los factores. Para el análisis del nivel de significación en la comparaciones por parejas y para todas las combinaciones lineales posibles de las medias de grupo que se van a contrastar, se utilizó la prueba de Scheffé. La prueba de Scheffé es normalmente más conservadora que otras pruebas, lo que significa que se precisa una mayor diferencia entre las medias para la significación.

Para los cuatro factores (fórmula, dirección, madera y tiempo) se dió una interacción significativa, lo que quiere decir que las medias de cada variable tienen diferencias significativas entre los niveles del factor. En el cuadro 3 se muestra el análisis por factor, siendo en la columna significación en donde se aprecia si la diferencia de medias es significativa cuando el valor es menor a 0,05.

Factor	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
FÓRMULA	Absorción	39990.743	2	19995.371	23.580	0.000
	Retención	25.378	2	12.689	23.722	0.000
	Penetración	1236.103	2	618.051	16.230	0.000
DIRECCIÓN	Absorción	2751460.217	2	1375730.108	1622.371	0.000
	Retención	1736.752	2	868.376	1623.472	0.000
	Penetración	60118.219	2	30059.109	789.366	0.000
MADERA	Absorción	330017.219	1	330017.219	389.183	0.000
	Retención	208.660	1	208.660	390.100	0.000
	Penetración	15015.277	1	15015.277	394.308	0.000
TIÉMPO	Absorción	36485.498	2	18242.749	21.513	0.000
	Retención	22.878	2	11.439	21.386	0.000
	Penetración	459.357	2	229.678	6.031	0.003

Cuadro 3. Análisis de varianza para valores de absorción, retención y penetración por factor.

Se mencionó anteriormente que se utilizó la prueba de Scheffé para el análisis por parejas y combinaciones en cada factor, a continuación se presentan 3 cuadros con los resultados de la prueba de Scheffé, en donde se muestran los resultados de los factores: fórmula, dirección y tiempo. Para el factor madera no es posible realizar la prueba ya mencionada debido a que este factor tiene solo dos niveles (albura y duramen), y la significación de la diferencia de medias ya es identificable en el cuadro 3 por que tiene solo una combinación, lo que no es posible para los otros factores, ya que estos tienen tres niveles cada uno.

Se aprecia en el cuadro 4 que no existe diferencia significativa entre los impregnantes de fórmula A y B que corresponden a Cu-HDO y Cu-HDO+0,3% pH estabilizador, donde existe diferencia es entre los impregnantes de formula Cu-HDO (origen Alemán) y la solución CCA. Ocurre lo mismo tanto para absorción, retención y penetración.

Variable dependiente	(I) Fórmula	(J) Fórmula	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
Absorción	A	B	5.611	3.423	0.262
	A	C	32.383	4.093	0.000
	B	C	26.772	3.988	0.000
Retención	A	B	0.142	0.086	0.258
	A	C	0.812	0.103	0.000
	B	C	0.671	0.100	0.000
Penetración	A	B	0.418	0.725	0.847
	A	C	3.869	0.867	0.000
	B	C	3.451	0.845	0.000

Cuadro 4. Prueba de Scheffé para la comparación por parejas del factor FÓRMULA

Respecto de la dirección de impregnación, en el cuadro 5 es posible identificar que no existe diferencia significativa entre la dirección radial y tangencial. Ocurre lo contrario cuando se comparan las medias de la dirección radial con la dirección longitudinal y la tangencial con la longitudinal. Moreno (1995), en madera de renoval de raulí también ha encontrado que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los cortes radial y tangencial.

Variable dependiente	(I) Dirección	(J) Dirección	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
Absorción	r	t	6.933	3.403	0.127
	r	l	-198.785	4.077	0.000
	t	l	-205.718	4.053	0.000
Retención	r	t	0.175	0.085	0.126
	r	l	-4.993	0.102	0.000
	t	l	-5.168	0.102	0.000
Penetración	r	t	0.113	0.721	0.988
	r	l	-28.943	0.864	0.000
	t	l	-29.056	0.859	0.000

Cuadro 5. Prueba de Scheffé para la comparación por parejas del factor DIRECCIÓN

Respecto de la absorción y la retención no existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos 4 h y 8 h. Para la variable penetración no existe diferencia significativa entre las medias de todas las combinaciones de tiempo.

Variable dependiente	(I) Tiempo	(J) Tiempo	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
Absorción	2 hrs	4 hrs	-9.236	3.706	0.046
	2 hrs	8 hrs	-13.194	3.691	0.002
	4 hrs	8 hrs	-3.958	3.698	0.565
Retención	2 hrs	4 hrs	-0.232	0.093	0.046
	2 hrs	8 hrs	-0.330	0.093	0.002
	4 hrs	8 hrs	-0.098	0.093	0.574
Penetración	2 hrs	4 hrs	-1.876	0.785	0.059
	2 hrs	8 hrs	-0.861	0.782	0.546
	4 hrs	8 hrs	1.015	0.784	0.433

Cuadro 6. Prueba de Scheffé para la comparación por parejas del factor TIEMPO

Los datos obtenidos de los ensayos se analizan y contrastan en gráficos y cuadros considerando solo los factores cuyos niveles hayan presentado diferencias significativas, ya que en relación a esos valores se pueden establecer tendencias y concluir las mejores condiciones a las que puede ser sometido el *Eucalyptus nitens* para obtener los mejores resultados.

En primer lugar se presentaran los resultados de absorción para los distintos ensayos y posteriormente los resultados de penetración. Los resultados de retención se obtienen a partir de los mismos datos utilizados para la absorción, los resultados de estas dos variables tiene un mismo origen y por lo tanto los resultados finales fluctúan de la misma forma para cada factor, lo que permite saber cual es la mejor

condición de tiempo, fórmula, dirección de penetración y madera de una variable analizando la otra variable.

Como se aprecia en el cuadro 7, donde se muestra si existe diferencia significativa entre las medias de los factores en la combinación de estos. Se analizaron sólo las combinaciones en donde existan diferencias significativas. Para las variables absorción y retención las diferencias existen en la combinación de los factores: fórmula-tiempo, dirección-madera, dirección-tiempo y madera-tiempo. Para la variable penetración las diferencias significativas entre medias existen en la combinación de los factores: fórmula-tiempo y dirección madera.

Fuente	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
FÓRMULA * DIRECCIÓN	Absorción	4106.779	3	1368.926	1.614	0.186
	Retención	2.560	3	0.853	1.595	0.190
	Penetración	106.293	3	35.431	0.930	0.426
FÓRMULA * MADERA	Absorción	4755.807	2	2377.904	2.804	0.062
	Retención	3.024	2	1.512	2.827	0.061
	Penetración	42.966	2	21.483	0.564	0.569
FÓRMULA * TIEMPO	Absorción	9626.793	4	2406.698	2.838	0.024
	Retención	6.012	4	1.503	2.810	0.026
	Penetración	597.569	4	149.392	3.923	0.004
DIRECCIÓN * MADERA	Absorción	747505.911	2	373752.956	440.759	0.000
	Retención	472.332	2	236.166	441.524	0.000
	Penetración	33341.187	2	16670.594	437.777	0.000
DIRECCIÓN * TIEMPO	Absorción	48082.223	4	12020.556	14.176	0.000
	Retención	30.170	4	7.543	14.101	0.000
	Penetración	215.585	4	53.896	1.415	0.229
MADERA * TIEMPO	Absorción	9946.296	2	4973.148	5.865	0.003
	Retención	6.357	2	3.179	5.943	0.003
	Penetración	158.531	2	79.265	2.082	0.126

Cuadro 7. Análisis de varianza para valores de absorción, retención y penetración entre factores.

5.2 Análisis de absorción

A continuación en los cuadros 8 y 9 se presentan los promedios de absorción de cada ensayo, con estos valores y de acuerdo a la significación del cuadro 7 se presentarán gráficos para demostrar claramente cual es el mejor nivel por factor. Los datos de los cuadros 8 y 9 se obtuvieron mediante el análisis estadístico descriptivo.

El mayor valor promedio de absorción de albura y duramen en la dirección longitudinal es de 442,4 l/m³ y 169,8 l/m³ los cuales se obtiene con 8 horas de

presión. En la absorción radial el mayor valor promedio para albura y duramen también se obtiene con 8 horas de presión, siendo $72,9 \text{ l/m}^3$ y 53 l/m^3 respectivamente.

La absorción en pino insignie es de 400 l/m^3 tanto en albura como en duramen, en eucalipto la absorción en albura y duramen es de 80 l/m^3 Fundación Chile (1992). Los valores obtenidos en los ensayos realizados, son superiores a los valores de absorción de eucalipto presentados por Fundación Chile, incluso los resultados del ensayo de albura superan a los de pino insignie.

En estudios realizados para coigue, especie que ha sido clasificada junto con eucalipto por presentar una significativa diferenciación en la permeabilidad de su albura y duramen, se han encontrado valores de absorción longitudinal para albura y duramen de 612 l/m^3 y 7 l/m^3 . Juacida (1991)

ALBURA		Tiempo presión		
Solución	Dirección penetración	2 h	4 h	8 h
		Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)
Fórmula A	Radial (l/m^3)	18,8 (7,1)	33,1 (8,4)	31,8 (10,9)
	Tangencial (l/m^3)	17,4 (8,2)	18,7 (7,3)	20,1 (5,4)
	Longitudinal (l/m^3)	299,4 (62,8)	355,7 (44,6)	390,4 (60,5)
Fórmula B	Radial (l/m^3)	13,4 (7,0)	14,9 (8,9)	27,6 (13,3)
	Tangencial (l/m^3)	12,7 (6,8)	13,2 (2,6)	21,9 (4,9)
	Longitudinal (l/m^3)	318,9 (45,2)	349,1 (72,4)	442,4 (39,7)
Fórmula C	Radial (l/m^3)	46,4 (13,4)	50,3 (8,7)	72,9 (8,8)
	Tangencial (l/m^3)	63,0 (11,3)	27,8 (10,4)	51,8 (18,1)

Cuadro 8. Promedio de absorción para cada ensayo de albura

DURAMEN		Tiempo presión		
Solución	Dirección penetración	2 h	4 h	8 h
		Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)
Fórmula A	Radial (l/m^3)	37,8 (20,4)	26,2 (5,9)	46,9 (11,5)
	Tangencial (l/m^3)	44,1 (17,8)	30,7 (8,9)	28,4 (6,9)
	Longitudinal (l/m^3)	126,0 (61,2)	154,0 (68,3)	136,5 (58,2)
	Radial (l/m^3)	20,2 (6,5)	24,7 (9,1)	37,2 (12,4)
	Tangencial (l/m^3)	15,0 (5,2)	18,2 (4,7)	21,9 (5,3)
	Longitudinal (l/m^3)	88,0 (38,7)	140,7 (73,5)	169,8 (66,8)
Fórmula C	Radial (l/m^3)	55,1 (30,2)	46,4 (0)	53,0 (17,5)
	Tangencial (l/m^3)	58,0 (24,8)	42,1 (22,1)	43,4 (21,0)

Cuadro 9. Promedio de absorción para cada ensayo de duramen

Como se dijo anteriormente en el cuadro 3 se aprecia que existe diferencia significativa entre las medias de albura y duramen, debido a la mayor permeabilidad de la madera de albura, ya que en el duramen se depositan compuestos extraíbles, ocasionados por la descomposición de almidones y azúcares, en la fina estructura de las punteaduras, con lo que se disminuye la permeabilidad del duramen. Stamm (1964).

Esta disminución de la permeabilidad en duramen se da también por el desarrollo de tilosis en los vasos. Juacida (1991)

Otra posible causa de la diferencia de permeabilidad entre albura y duramen son: el bloqueo de células por burbujas de aire. Bailey y Preston (1970)

5.2.1 Análisis fórmula-tiempo

En el factor fórmula es claro que no existe diferencia entre A y B por lo tanto de estos dos se eligió A para los gráficos correspondientes a fórmula-tiempo.

Como se sabe que existe diferencia significativa entre albura y duramen se presentarán gráficos de combinación fórmula-tiempo para albura y para duramen en forma separada. Se sabe también que para el factor tiempo no existe diferencia entre 4 h y 8 h por lo tanto se elige 4 horas para compararlo con 2 horas.

Como no existe diferencia significativa entre las direcciones radial y tangencial, se utilizan solamente los datos de dirección radial para el análisis fórmula-tiempo, tampoco se utilizan los datos de la dirección longitudinal ya que al comparar fórmulas, en la C no hubo ensayos longitudinales.

Para la absorción de la madera de albura se aprecia que el mejor tiempo de presión es de 4 horas,

Se observa en la figura 5 que existe una gran diferencia entre impregnantes, siendo evidente que la mejor solución es la fórmula C que corresponde a CCA, el hecho de que la madera tenga mayor permeabilidad al ser tratada con CCA se ha observado también en estudios realizados en donde se ha comprobado que la solución impregnante CCA tiene características de trabajabilidad y retención superiores tanto para albura como duramen en comparación con otros impregnantes. (Smith *et. al.*, 1996)

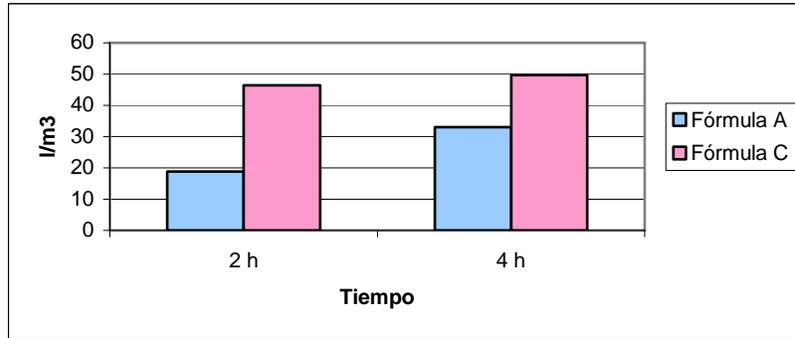


Figura 5. Comportamiento de la absorción al variar fórmula y tiempo en albura, corte radial.

Para duramen se aprecia que la fórmula C es mejor que A y se puede decir que tanto para albura como para duramen el aumento en el tiempo de presión mejora la absorción, aunque en duramen es menor la diferencia entre tiempos y entre fórmulas.

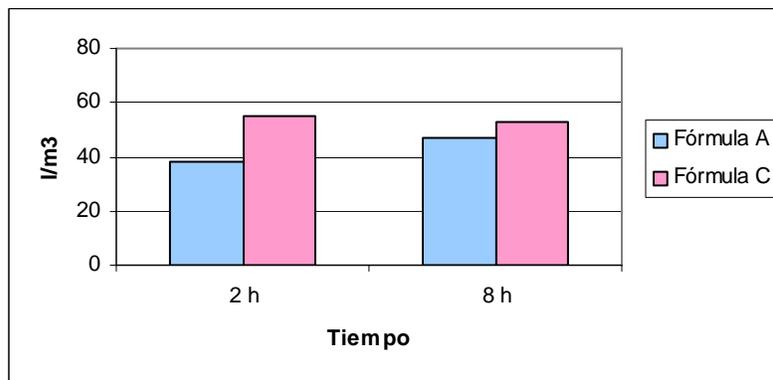


Figura 6. Comportamiento de la absorción al variar fórmula y tiempo en duramen, corte radial

Por estudios realizados se sabe que el incremento en el tiempo de presión afecta positivamente la absorción, lo cual corrobora los resultados obtenidos de los ensayos. Al impregnar los mejores resultados se obtiene con presiones moderadas y tiempos relativamente extensos, que con periodos cortos y presiones altas, ello a pesar de la importancia que tiene el aumento de la presión en la absorción. Hackbart (1975)

5.2.2 Análisis dirección-madera

Por no existir diferencia significativa entre las medias de la dirección radial y tangencial no se muestran los datos de dirección tangencial, en la figura 7, en el cual se observa que la dirección longitudinal es mayor a la radial, tanto en albura como en duramen, la relación entre estos dos cortes para albura es 1:10, en el caso de madera de duramen la relación es 1:4. Y la relación entre albura y duramen en el corte radial es 1:1 lo cual indica que no existe diferencia en la absorción radial

cuando la madera es de albura o duramen, pero en el corte longitudinal, si se aprecia diferencia siendo la relación entre albura y duramen de 3:1

Por lo mencionado anteriormente se puede decir que la mejor dirección de absorción es la longitudinal y que la albura permite una mayor absorción.

La explicación a la mayor absorción longitudinal que es 10 veces más que la absorción radial en albura y 4 veces en duramen, es debido a que la absorción longitudinal se realiza mediante los vasos y las fibras, los cuales tiene la función de conducción de fluidos a lo largo del fuste, los vasos son de mayor dimensión y conducen más fácilmente que los radios leñosos los cuales contribuyen a la permeabilidad en sentido radial junto con las punteaduras. Siau (1984)

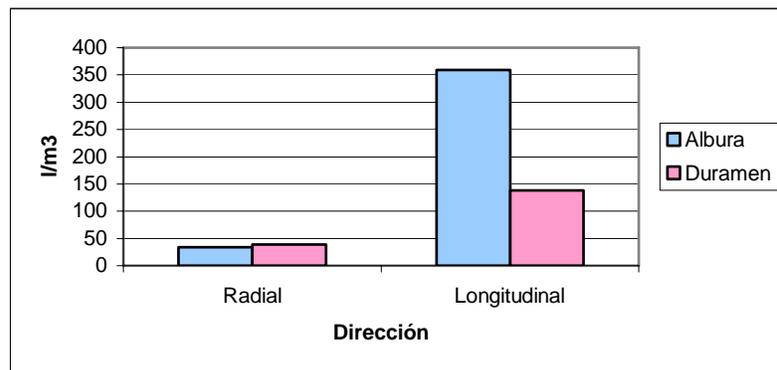


Figura 7. Comportamiento de la absorción al variar dirección y madera

Debido a la estructura y orientación de los elementos celulares generalmente la madera tiene mayor absorción radial que tangencial; aunque en los análisis estadísticos no existe diferencia significativa entre las medias de la dirección radial y tangencial, en los cuadros promedio 8 y 9 se aprecia que en algunos casos la dirección tangencial es mayor a la radial. En estudios realizados se ha observado que con el secado la penetración radial disminuye, en tanto que la tangencial aumenta y la longitudinal permanece constante. Erickson y Estep (1962)

En coigüe se ha encontrado que existe una relación entre el ancho de anillos y la absorción de la especie. Juacida (1991), lo cual puede afectar también tanto en la diferencia como en la similitud de absorción entre albura y duramen.

5.2.3 Análisis dirección-tiempo

Existe una variación positiva en las direcciones radial y longitudinal al incrementar el tiempo de presión. Lo que se aprecia claramente en las figuras 8 y 9. estos gráficos concuerdan con lo mencionado en los puntos anteriores en donde establecimos que la dirección longitudinal y la madera de albura permiten mayor absorción y que el mejor tiempo de presión es 8 horas, pero teniendo claro que no existe diferencia significativa entre 4 y 8 horas.

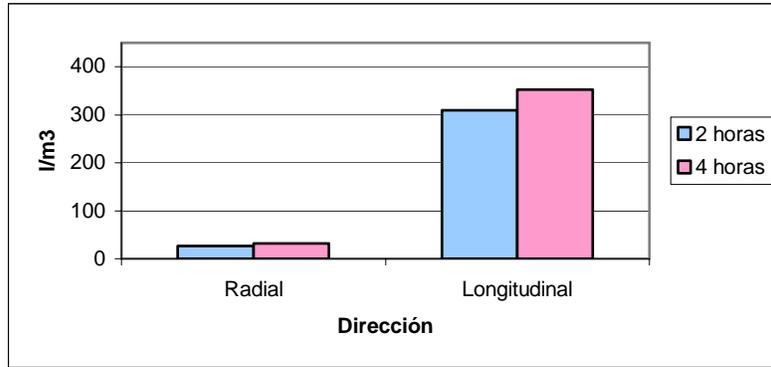


Figura 8. Comportamiento de la absorción al variar dirección y tiempo en albur

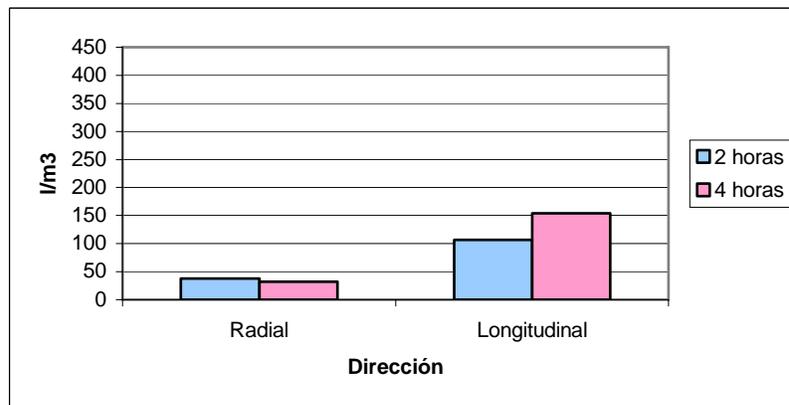


Figura 9. Comportamiento de la absorción al variar dirección y tiempo en duramen

5.2.4 Análisis madera-tiempo

Al variar el tiempo de presión la madera también se ve afectada mejorando su absorción, siendo definitivamente la mejor condición de tiempo de presión 8 horas, claro que al no existir diferencia significativa entre 4 y 8 horas es preferible impregnar con el menor tiempo. Ya que siempre se deben considerar minimizar los costos en la industria.

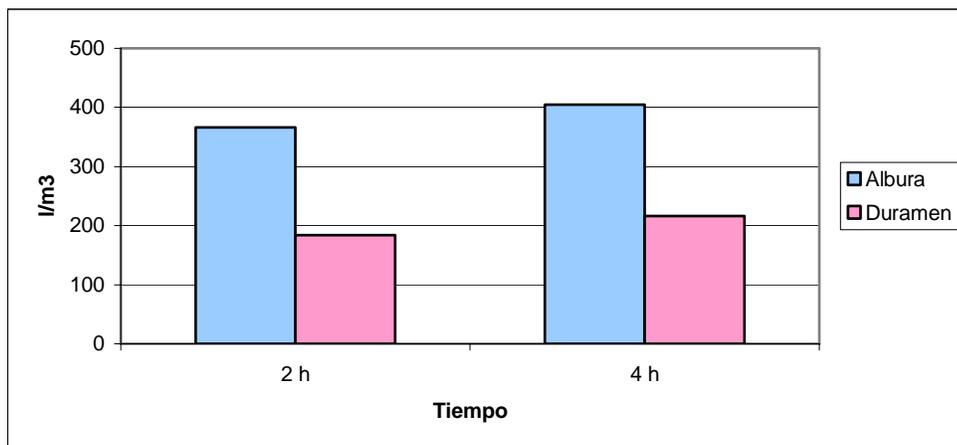


Figura 10. Comportamiento de la absorción al variar madera y tiempo

5.3 Análisis de penetración

A continuación en los cuadros 10 y 11 se presentan los promedios de penetración de cada ensayo, la unidad en la que está expresada la penetración es en porcentaje (%), siendo éste el porcentaje de madera con penetración de solución en base al área total de la sección de la probeta. Con estos valores y de acuerdo a la significación del cuadro 7 se presentarán gráficos para demostrar claramente cual es el mejor nivel por factor. También es posible visualizar en el anexo 2 fotografías de probetas ensayadas en donde se muestra la penetración radial, tangencial y longitudinal (la superficie de madera de tono rojizo, evidencia la presencia de impregnante y la superficie de tono anaranjado es la solución indicadora de cobre).

Los datos de los cuadros 10 y 11 se obtuvieron mediante el análisis estadístico descriptivo.

El mayor valor promedio de penetración de albura y duramen en la dirección longitudinal es de 72% y 9,6 % los cuales se obtiene con 8 horas de presión. En la penetración radial el mayor valor promedio para albura y duramen también se obtiene con 8 horas de presión, siendo 7% y 8,3% respectivamente.

ALBURA		Tiempo presión		
Solución	Dirección penetración	2 h	4 h	8 h
		Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)
Fórmula A	Radial %	1,7 (1,1)	1,8 (0,9)	1,3 (1,5)
	Tangencial %	1,1 (0,5)	1,4 (0,5)	1,0 (0,4)
	Longitudinal %	52,0 (12,3)	65,0 (18,4)	56,4 (10,5)
Fórmula B	Radial %	1,2 (0,9)	1,1 (1,4)	1,1 (0,9)
	Tangencial %	1,0 (1,0)	1,0 (0,4)	1,0 (0,4)
	Longitudinal %	54,0 (8,4)	52,8 (25,6)	72,4 (12,7)
Fórmula C	Radial %	1,7 (1,2)	6,0 (4,1)	7,0 (3,2)
	Tangencial %	4,2 (3,8)	7,7 (2,2)	6,6 (1,5)

Cuadro 10. Promedio de penetración para cada ensayo de albura

DURAMEN		Tiempo presión		
Solución	Dirección penetración	2 h	4 h	8 h
		Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)	Prom. (D. Est.)
Formula A	Radial %	1,9 (0,7)	1,7 (0,9)	3,6 (1,5)
	Tangencial %	1,8 (0,9)	2,2 (0,8)	1,2 (0,9)
	Longitudinal %	14,8 (12,2)	14,3 (5,6)	7,1 (3,0)
Formula B	Radial %	2,0 (0,8)	2,9 (1,8)	3,4 (1,9)
	Tangencial %	1,4 (0,6)	1,4 (0,8)	1,5 (1,2)
	Longitudinal %	6,7 (3,8)	10,6 (8,7)	9,6 (8,4)
Formula C	Radial %	4,1 (2,6)	4,6 (2,1)	8,3 (5,9)
	Tangencial %	5,1 (3,1)	9,4 (7,6)	10,8 (12,5)

Cuadro 11. Promedio de penetración para cada ensayo de duramen

5.3.1 Análisis fórmula-tiempo

Para este análisis se utilizan solamente los datos promedios de penetración correspondientes a la dirección radial, ya que para los análisis de absorción también se utilizó dirección radial pudiendo de ésta manera contrastar los datos en forma ordenada. En el análisis de absorción del capítulo 5.2.1 se dio la misma tendencia al incrementar el tiempo, obteniendo que el tiempo que permite la mayor penetración es 4 horas y el impregnante es el que corresponde a la fórmula C, figura 11.

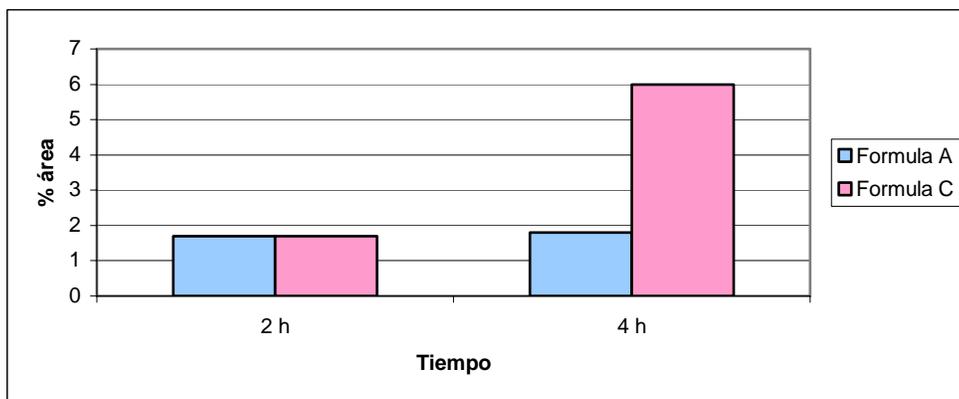


Figura 11. Comportamiento de la penetración al variar fórmula y tiempo en albur, corte radial.

Es visible en la figura 11 que no existe diferencia entre fórmula A y C para 2 horas de presión, una explicación a esto es que las probetas provienen de distintas alturas del árbol y de distintos individuos, lo cual hace que cambien sus propiedades fácilmente. Lo mencionado anteriormente es corroborado por Wilkes (1988), quien menciona que se ha encontrado variación en la anatomía de la madera de eucalipto entre árboles de una misma especie y en el tronco se pueden encontrar variaciones en el largo de la fibra y densidad básica entre árboles vecinos de la misma edad, estas variaciones pueden ser fácilmente de 25% y 50% respectivamente.

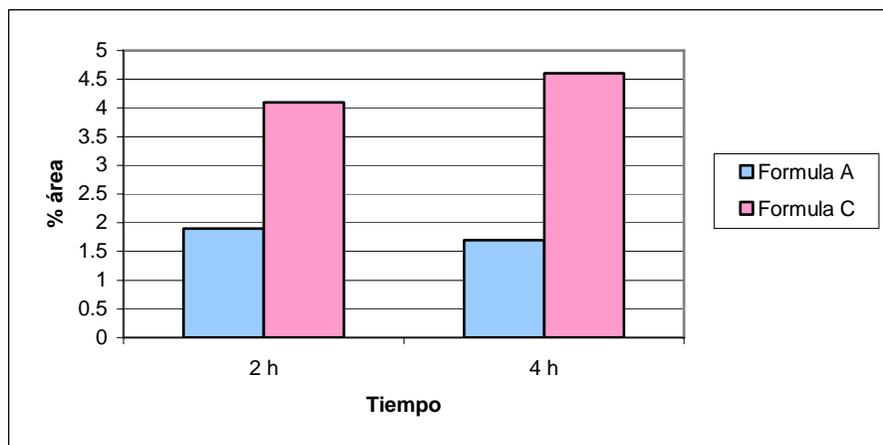


Figura 12. Comportamiento de la penetración al variar fórmula y tiempo en duramen, corte radial.

5.3.2 Análisis dirección-madera

Dado que no existe diferencia significativa entre el corte tangencial y radial, seguimos trabajando con el corte radial, en la figura 13 se observa que la dirección longitudinal es mayor a la radial, tanto en albura como en duramen, la relación entre estos dos cortes para albura es 1:23 , en el caso de madera de duramen la relación es 1:3. Y la relación entre albura y duramen en el corte radial es 1:1 lo cual indica que no existe diferencia en la penetración radial cuando la madera es de albura o duramen, pero en el corte longitudinal, si se aprecia diferencia siendo la relación entre albura y duramen de 5,6:1.

En cuanto a la dirección de impregnación es claro que la mayor penetración ocurre por la dirección longitudinal, sobretodo en madera de albura, ocurre lo mismo en duramen pero en menor proporción.

Las diferencias entre albura y duramen presentadas, concuerdan con lo mencionado por Juacida (1991) donde menciona que dentro de las especies que crecen en Chile que presentan una significativa diferenciación en la permeabilidad de su albura y duramen se encuentran coigüe, roble, lingue, tinoe y eucaliptos.

El duramen de *Eucalyptus nitens* presenta tilosis en los vasos, esto influye en la penetración ya que los vasos obstruidos por tildes tiene influencia directa en la conducción longitudinal. La figura 14 que se encuentra en la siguiente hoja, presenta una fotografía microscópica de un corte transversal y radial de ésta especie en donde se aprecia claramente la presencia de tilide en los vasos.

Wardrop y Davies (1961) encontraron vasos de duramen de *E. regnans* cerrados por tilosis.

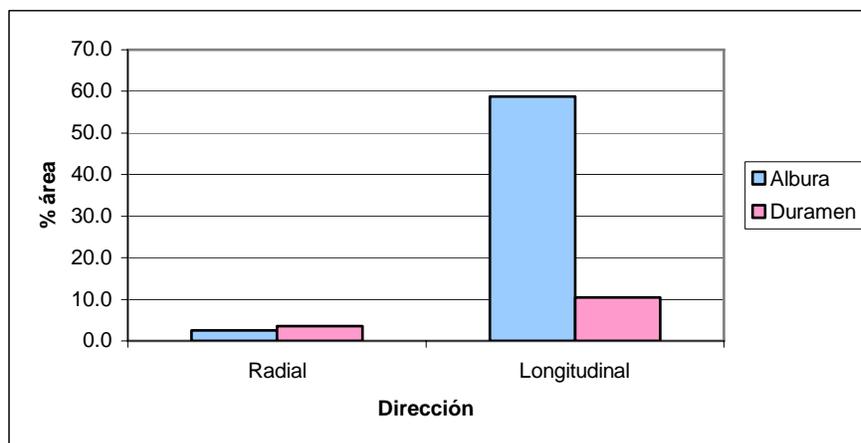
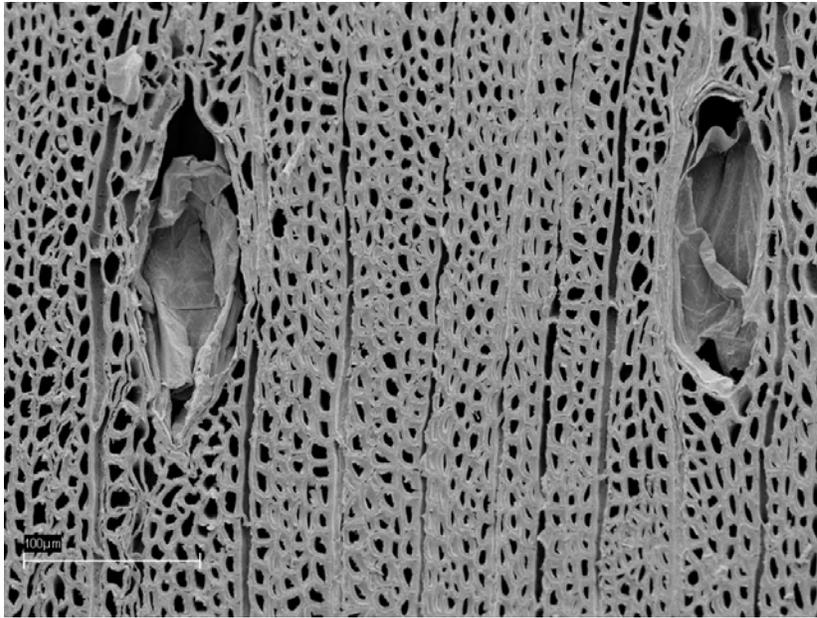
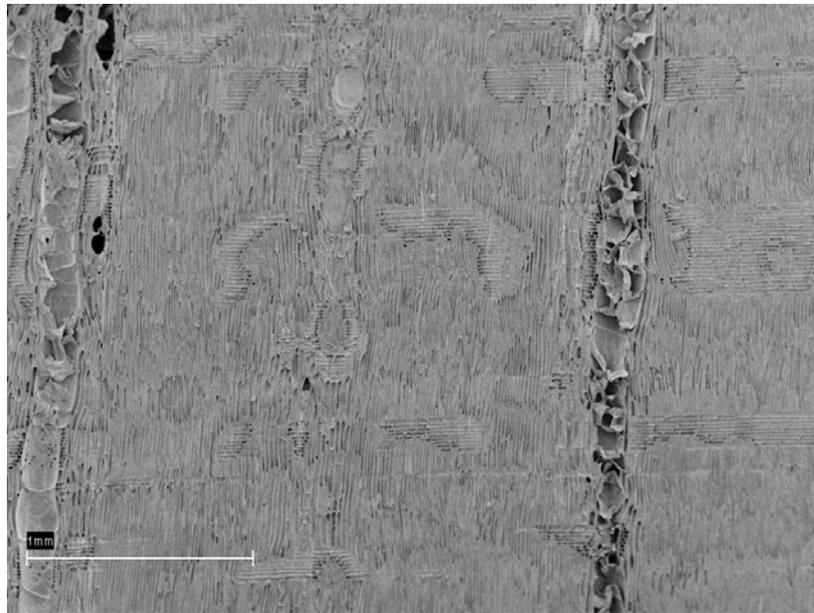


Figura 13. Comportamiento de la penetración al variar dirección y madera



Fotografía 1 (100 μm)



Fotografía 2 (1 mm)

Figura 14. Fotografía microscópica de un corte transversal (fotografía 1) y radial (fotografía 2) de la especie *Eucalyptus nitens*. En los dos cortes se aprecia claramente la presencia de tílido en los vasos.

5.4 Relación entre absorción y penetración

La asociación entre las variables penetración y absorción, se analizan tanto en probetas de dirección radial como longitudinal, mediante una análisis de regresión se pudo identificar el nivel de relación que existe entre estas variables para las dos direcciones.

5.4.1 Relación en la dirección radial

Tras haber realizado el análisis se obtiene un coeficiente de correlación $r = 0,7187$, lo que indica que el 72% de los datos son explicados por la ecuación lineal, y que la relación entre absorción y penetración se da en esta misma proporción.

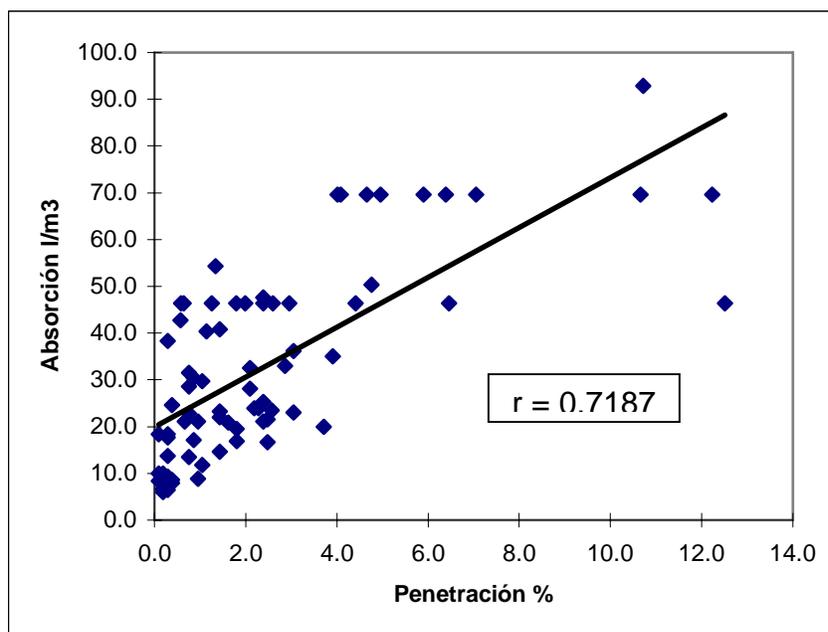


Figura 15. Correlación entre penetración y absorción en probetas radiales

5.4.2 Relación en la dirección longitudinal

Para la relación de las variables en la dirección longitudinal se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,9315$, lo que indica que el 93% de los datos son explicados por la ecuación lineal, y que la relación entre absorción y penetración se da en esta misma proporción. Las variables en la dirección longitudinal tienen mayor relación que en la radial, en el sentido tangencial se dio un coeficiente de relación aún menor con $r = 0,4973$. Al igual que otro estudio realizado en madera de renoval raulí, fue en la dirección tangencial donde se encontró menor relación entre las variables de absorción y penetración. Moreno (1995).

En un estudio realizado en la dirección radial y tangencial con madera de *Eucalyptus grandis*, se determinó que la relación entre retención y penetración no siempre son

lineales, debido a que la cantidad de preservante aumenta desde la superficie hacia el interior. Esto se debe a que la cantidad de lignina es menor en la zona superficial y con ello la reacción de fijación es menor, permitiendo una penetración profunda del impregnante antes que comience una fijación definitiva, esto causa una disminución de la concentración de preservante en la superficie de la madera y un aumento hacia el límite entre albura y duramen. Jansen (1985)

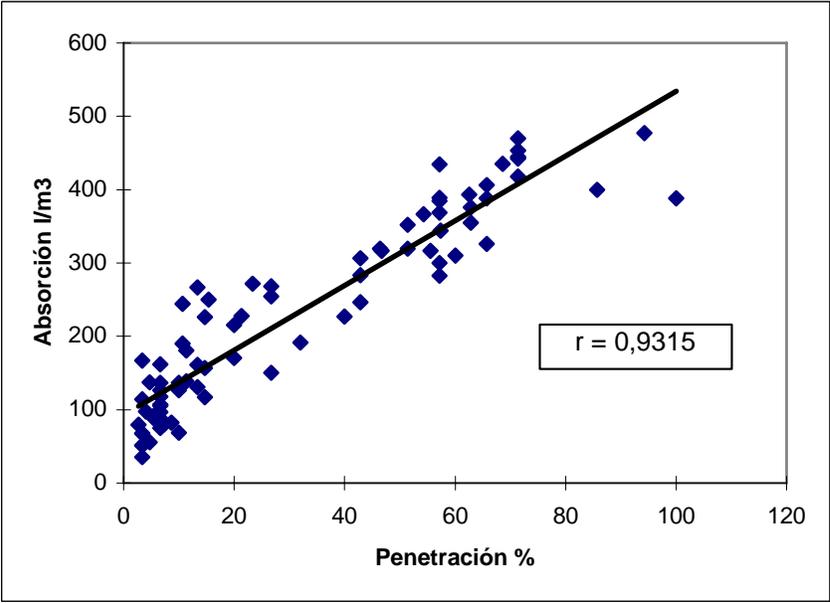


Figura 16. Correlación entre penetración y absorción en probetas longitudinales

6. CONCLUSIÓN

1. Se definió valores de absorción retención y penetración para el *Eucalyptus nitens*, tanto en duramen como albura, los valores para absorción son 421 l/m^3 y 210 l/m^3 , retención $10,6 \text{ kg/m}^3$ y $5,2 \text{ kg/m}^3$, penetración 64% y 18%.
2. En los ensayos de retención radial y tangencial del *Eucalyptus nitens* se obtuvo valores promedio de $1,6 \text{ kg/m}^3$ para albura y $1,8 \text{ kg/m}^3$ para duramen lo que concuerda con el estudio hecho por Donoso y Manríquez (1978), en el cual se utilizaron condiciones similares de presión, tiempo, concentración de impregnante obteniendo valores de retenciones promedio de $1,3 \text{ kg/m}^3$ para probetas impregnadas en dirección radial y tangencial.
3. Mediante los análisis estadísticos, se obtuvo que no existe diferencia significativa entre las medias de la dirección radial y tangencial, tampoco existe diferencia en los tiempo de presión: entre 4 y 8 horas. Entre las fórmulas de solución impregnante no existe diferencia significativa entre A y B.
- 4 Las mejores condiciones para los cuatro factores analizados son: solución impregnante es la fórmula C, tiempo de presión es 4 horas, madera es albura y dirección de impregnación es longitudinal.
5. En cuanto a la penetración radial, los valores promedio son bajos, del orden de 2,5% para albura y 3,6% para duramen, en estudios realizados por Donoso y Manríquez (1978) mencionan haber encontrado penetraciones mínimas en eucalipto.
6. La relación lineal entre absorción y penetración en la dirección longitudinal se da con un mayor coeficiente de correlación que en la dirección radial, obteniendo un coeficiente de 0,93 para dirección longitudinal, 0,72 para radial y 0,49 para tangencial.
7. El comportamiento de las fórmulas A y B en absorción, retención y penetración no muestran diferencias significativas, por el contrario si existe diferencia significativa entre estas dos fórmulas y la C.
8. Las respuestas de absorción, retención y penetración no presentan diferencia significativa entre dirección radial y tangencial, pero si existe diferencia significativa entre estas direcciones y la longitudinal.
9. Los diferentes tiempos de tratamiento entre 4 y 8 horas no presentan diferencia significativa, por lo que desde el punto de vista de productividad y costos, se recomienda utilizar 4 horas.
10. Existe diferencia significativa entre duramen y albura, en la dirección longitudinal.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bailey P. J., Preston R. D. 1970. Some aspects of softwoods permeability. II Flow of polar and non-polar liquids through sapwood and heartwood of Douglas fir. *Holzforschung*, 24 (2) : 37-45.
- Contardo R., Juacida R. 2003. Para una larga vida útil. *Revista Lignum* N° 63: 27 - 30
- Donoso J., Manríquez L. 1978. Estudio de la impregnación a vacío presión de maderas refractarias. *Boletín Técnico* N° 53. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad de Chile.
- Erickson H., Estep E. 1962. Permeability of Douglas fir heartwood from western Washington. *Forest Products Journal* N° 7: 313-324
- Escalona J., González R., Millar H. 1999. Evaluación de especies de Eucalyptus. Trabajo técnico presentado en las VIII jornadas técnicas de la celulosa y el papel.
- Fundación Chile. 1989. Manual de operaciones para plantas de impregnación. Asociación preservadores de maderas de Chile. 72 p
- Fundación Chile. 1992. Manual para operadores de plantas de impregnación de maderas. Manual elaborado con motivo del curso para operadores de plantas de impregnación de maderas. 67p.
- Hackbart W. 1975. Untersuchungen ubre enige Grundlagen der Kesseldruckimpregnierung von Fichttenholz. *Holz als Roh und Werkstoff* N°12: 451-455
- Hudson I., Wilson L., Van Beveren K. 1998. Vessel and fibre property variation in Eucalyptus globulus and Eucalyptus nitens: some preliminar results. *IAWA Journal* v. 19 (2): 111-130
- INFOR. 1981. Técnicas de impregnación de madera. Informe técnico, volumen 82. 40 p
- INFOR. 2004. Superficie de plantaciones forestales. INTERNET: <http://www.infor.cl/> (Noviembre, 15, 2004)
- Jansen A., Pizzi A., Conradie E. W. 1985. The penetration characteristics of CCA preservatives in wood-radial/tangential, proceses and species effects. *Holz als Roh und Werkstoff* N°43 pp 181-186
- Juacida R. 1991. Algunos factores que influyen en la permeabilidad de la madera, *Publicación Docente* N° 3. Universidad Austral de Chile. 16 p

- Kibblewhite R. P., Johnson B. I., Shelbourne C. J. A. 2000a. Kraft pulp qualities of eucalyptus nitens, E. Globulus, and E. Maidenii, at ages 8 and 11 years. New Zealand Journal of Forestry Science, v. 30 (3): 447-457
- Kibblewhite R. P., Riddell M. J. C., Shelbourne C. J. A. 2000b. Variations in wood, Kraft fibre, and handsheet properties among 29 trees of Eucalyptus regnans, and comparison with E. Nitens and E. Fastigata. New Zealand Journal of Forestry Science, v. 30 (3): 458-474
- Kollmann F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Física de la madera. Teoría de la impregnación de maderas a presión, capítulo 3.3.5. Springer Verlag, Berlín, Gottingen – Heidelberg – J. P. Bergmann München. 675 p
- Melo R., Paz J., Solís A., Carrasco V. 1991. Ensayo de pulpaje y blanqueo de madera de eucaliptos. Celulosa y Papel, v. 7 (1): 10-19
- Moreno G. 1995. Impregnabilidad de la madera de renovales de *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl. Oerst) en dos estados de la madera, con y sin tratamiento en agua caliente. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.
- Norma Chilena. 1985. Madera-Preservación-Medición de la penetración y de la retención de preservadores en la madera.
- Peredo M. 2000. Utilización industrial de la madera de Eucalyptus. Bioforest S.A. Concepción - Chile.
- Rudman P. 1966. Movement of aqueous solutions through the pits and cell walls of Eucalyptus sapwoods. Holzforschung N° 20: 57-60
- Siau J. F. 1984. Transport proceses in wood. Springer, Verlag, Heidelberg, Berlin H. New York, Tokyo. 245 p
- Smith W., Abdullah N., Herdman D., De Groot R. 1996. Preservative treatment of red maple. Forest Products Journal, v. 46 (3): 35-41
- Stamm A. J. 1964. Wood and cellulose science. Ronald New York. 549 pp.
- Wardrop A. B., Davies G. W. 1961. Morphological factors relatin to the penetration of liquids into wood. Holzforschung, v. 15: 129-141
- Wilkes J. 1988. Variations in wood anatomy within species of eucalyptus. IAWA Bulletins n. s., v. 9 (1): 13-23

ANEXOS

ANEXO 1

Abstract

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the impregnability of *Eucalyptus nitens* wood with three impregnating water-soluble, defining the best conditions of treatment of the different variables involved in the process.

The variables to measure are the obtained absorption, retention and penetration under the conditions of treatment referred a: time of pressure (2, 4 and 8 hours), differentiation in the penetration sectors (radial, tangential and longitudinal), as well as in the type of wood (sapwood and heartwood). The intensity of vacuum and pressure stayed constant.

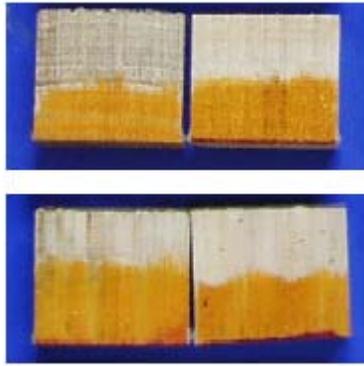
The study gave significant differences between radial and longitudinal direction, as well as between tangential and longitudinal. Respect to the type of wood, exists difference between sapwood and heartwood. In relation to the types of impregnating, difference between the formulations of different chemical composition exists.

Keywords: Impregnability, absorption, retention, penetration, *Eucalyptus nitens*

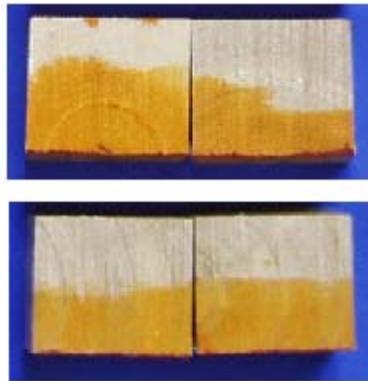
ANEXO 2

Fotografías de probetas ensayadas, en donde se muestra la penetración radial, tangencial y longitudinal.

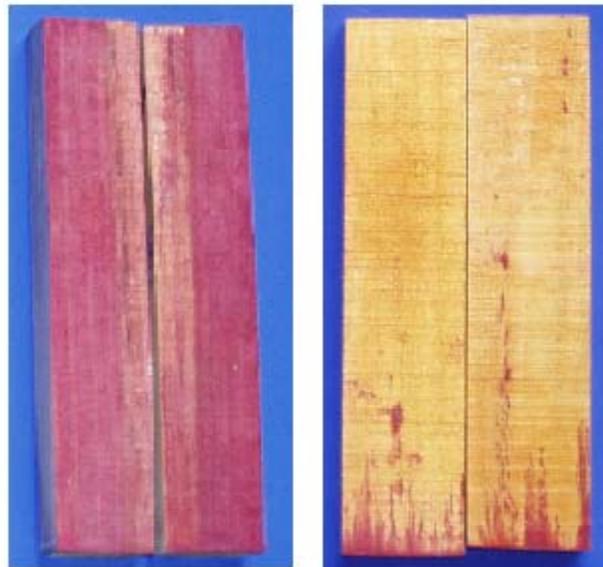
Dirección radial y tangencial de albura



Dirección radial y tangencial de duramen



Dirección longitudinal de albura y duramen



ANEXO 3

Cuadros con datos de absorción, retención y penetración de cada una de las probetas ensayadas.

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 2 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
1	R	21.1	0.53	1.0
2	R	17.2	0.43	0.9
3	R	82.8	2.08	5.1
4	R	32.5	0.82	2.1
5	R	19.5	0.49	1.8
6	R	16.7	0.42	2.5
7	R	6.7	0.17	0.2
8	R	16.9	0.43	1.8
9	R	4.6	0.12	0.4
10	R	20.0	0.50	3.7
11	T	25.5	0.64	0.6
12	T	21.1	0.53	1.8
13	T	13.2	0.33	1.0
14	T	23.2	0.58	1.8
15	T	10.7	0.27	0.6
16	T	15.5	0.39	1.2
17	T	9.3	0.23	0.9
18	T	12.8	0.32	1.4
19	T	9.1	0.23	0.6
20	T	33.6	0.85	1.4
21	L	75.7	1.90	3.3
22	L	56.7	1.43	1.0
23	L	344.1	8.65	57.3
24	L	368.6	9.26	57.1
25	L	283.1	7.11	42.9
26	L	326.3	8.20	65.7
27	L	282.9	7.11	57.1
28	L	191.5	4.81	32.0

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 2 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
29	R	66.6	1.67	1.3
30	R	104.9	2.64	1.4
31	R	149.0	3.74	4.4
32	R	134.1	3.37	3.3
33	R	144.8	3.64	2.8
34	R	151.3	3.80	2.4
35	R	156.2	3.92	9.0
36	R	21.3	0.54	1.1
37	R	37.6	0.94	2.3
38	R	25.8	0.65	2.7
39	T	66.8	1.68	1.0
40	T	131.3	3.30	0.6
41	T	143.6	3.61	0.8
42	T	147.4	3.70	0.7
43	T	42.0	1.06	0.5
44	T	260.6	6.55	2.3
45	T	23.7	0.59	2.5
46	T	209.8	5.27	1.8
47	T	56.9	1.43	2.4
48	T	30.9	0.78	2.5
49	L	227.3	5.71	40.0
50	L	95.3	2.39	6.0
51	L	190.1	4.78	10.7
52	L	138.8	3.49	11.3
53	L	82.6	2.08	8.7
54	L	55.8	1.40	4.7
55	L	68.3	1.72	10.0
56	L	150.1	3.77	26.7

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 4 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
57	R	40.4	1.01	1.1
58	R	28.1	0.71	2.1
59	R	74.0	1.86	9.4
60	R	33.0	0.83	2.9
61	R	29.7	0.75	1.0
62	R	23.9	0.60	2.3
63	R	38.3	0.96	0.3
64	R	23.9	0.60	2.2
65	R	13.9	0.35	1.2
66	R	47.6	1.20	2.4
67	T	34.1	0.86	1.5
68	T	20.7	0.52	0.6
69	T	14.9	0.37	1.6
70	T	66.1	1.66	2.7
71	T	16.9	0.43	1.7
72	T	13.9	0.35	1.3
73	T	18.1	0.45	1.9
74	T	12.5	0.31	0.9
75	T	47.3	1.19	5.2
76	L	55.6	1.40	1.3
77	L	72.7	1.83	1.7
78	L	317.0	7.96	55.5
79	L	387.9	9.75	100.0
80	L	393.5	9.89	62.6
81	L	406.4	10.21	65.7
82	L	310.0	7.79	60.0
83	L	319.6	8.03	46.4

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 4 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
84	R	22.0	0.55	0.6
85	R	20.9	0.52	0.8
86	R	19.5	0.49	1.0
87	R	66.6	1.67	6.3
88	R	21.1	0.53	1.6
89	R	35.5	0.89	2.8
90	R	27.4	0.69	2.3
91	R	80.1	2.01	7.6
92	R	70.5	1.77	5.9
93	R	30.2	0.76	2.4
94	T	21.8	0.55	1.3
95	T	17.2	0.43	0.7
96	T	21.8	0.55	1.8
97	T	28.3	0.71	2.4
98	T	43.2	1.08	3.0
99	T	32.5	0.82	2.2
100	T	36.9	0.93	3.7
101	T	36.7	0.92	2.3
102	T	37.8	0.95	2.5
103	T	44.6	1.12	2.1
104	L	347.6	8.73	42.0
105	L	227.5	5.72	21.3
106	L	250.5	6.29	15.3
107	L	80.4	2.02	7.3
108	L	117.4	2.95	14.7
109	L	74.8	1.88	6.7
110	L	156.6	3.94	14.7
111	L	170.7	4.29	20.0

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 8 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
224	R	36.2	0.91	3.0
225	R	42.7	1.07	0.6
226	R	31.6	0.79	0.8
227	R	28.5	0.72	0.8
228	R	30.4	0.76	0.9
229	R	50.4	1.27	4.8
230	R	17.6	0.44	0.3
231	R	18.3	0.46	0.1
232	R	21.1	0.53	0.7
233	R	40.8	1.03	1.4
234	T	24.6	0.62	0.5
235	T	26.7	0.67	1.2
236	T	14.6	0.37	0.8
237	T	21.8	0.55	1.7
238	T	22.7	0.57	1.0
239	T	15.8	0.40	1.0
240	T	9.1	0.23	1.0
241	T	18.8	0.47	1.2
242	T	23.4	0.59	0.8
243	T	23.2	0.58	0.4
244	L	74.7	1.88	4.7
245	L	64.9	1.63	5.3
246	L	57.7	1.45	2.7
247	L	562.4	14.13	100.0
248	L	434.6	10.92	57.1
249	L	306.8	7.71	42.9
250	L	384.9	9.67	57.1
251	L	435.3	10.94	68.6

Impregnante : Cu-HDO
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 8 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
252	R	33.2	0.83	3.8
253	R	40.6	1.02	2.2
254	R	36.0	0.90	2.7
255	R	34.3	0.86	2.3
256	R	62.7	1.57	5.8
257	R	63.4	1.59	5.5
258	R	40.6	1.02	2.6
259	R	52.2	1.31	4.4
260	R	49.2	1.24	1.9
261	R	56.4	1.42	5.3
262	T	30.4	0.76	1.2
263	T	40.4	1.01	2.6
264	T	25.1	0.63	1.6
265	T	29.5	0.74	2.8
266	T	37.1	0.93	0.4
267	T	24.4	0.61	1.0
268	T	25.5	0.64	1.2
269	T	15.5	0.39	0.3
270	T	26.2	0.66	0.7
271	T	29.9	0.75	0.5
272	L	89.0	2.24	5.3
273	L	244.5	6.14	10.7
274	L	316.9	7.96	15.3
275	L	180.7	4.54	11.3
276	L	79.5	2.00	2.7
277	L	107.2	2.69	6.7
278	L	136.7	3.44	6.7
279	L	118.0	2.97	6.7

Impregnante : Cu-HDO + 0,3 pH estabilizador

Concentración : 2,5 % p/v

Tiempo de presión : 2 horas

Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
112	R	14.6	0.37	1.4
113	R	8.6	0.22	0.4
114	R	11.8	0.30	1.0
115	R	21.1	0.53	2.4
116	R	21.6	0.54	2.5
117	R	6.0	0.15	0.2
118	R	6.5	0.16	0.3
119	R	9.3	0.23	0.3
120	R	8.8	0.22	1.0
121	R	25.3	0.64	2.4
122	T	12.5	0.31	1.7
123	T	7.9	0.20	0.4
124	T	18.6	0.47	0.3
125	T	20.9	0.52	2.2
126	T	26.0	0.65	3.2
127	T	10.4	0.26	0.2
128	T	8.4	0.21	1.0
129	T	9.3	0.23	0.8
130	T	6.3	0.16	0.4
131	T	6.7	0.17	0.2
132	L	66.2	1.66	2.0
133	L	65.1	1.64	2.0
134	L	316.3	7.95	46.7
135	L	376.2	9.45	62.9
136	L	246.7	6.20	42.9
137	L	319.5	8.03	51.4
138	L	299.7	7.53	57.1
139	L	355.2	8.93	62.9

Impregnante : Cu-HDO + 0,3 pH estabilizador

Concentración : 2,5 % p/v

Tiempo de presión : 2 horas

Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
140	R	23.4	0.59	3.1
141	R	14.8	0.37	1.3
142	R	17.6	0.44	1.5
143	R	16.2	0.41	1.6
144	R	18.3	0.46	1.7
145	R	22.0	0.55	2.5
146	R	29.0	0.73	2.2
147	R	32.3	0.81	3.7
148	R	16.5	0.41	1.5
149	R	11.6	0.29	1.1
150	T	12.8	0.32	1.1
151	T	9.7	0.24	0.5
152	T	11.1	0.28	1.7
153	T	23.2	0.58	1.3
154	T	17.2	0.43	1.9
155	T	23.4	0.59	1.9
156	T	12.8	0.32	1.2
157	T	17.2	0.43	2.4
158	T	9.0	0.23	0.8
159	T	13.2	0.33	1.0
160	L	271.9	6.83	28.6
161	L	35.7	0.90	3.3
162	L	87.9	2.21	6.7
163	L	130.7	3.29	13.3
164	L	105.8	2.66	6.7
165	L	67.5	1.70	3.3
166	L	51.6	1.30	3.3
167	L	136.8	3.44	10.0

Impregnante : Cu-HDO 0,3 pH estabilizador
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 4 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
168	R	10.0	0.25	0.1
169	R	20.9	0.52	1.6
170	R	13.5	0.34	0.8
171	R	35.0	0.88	3.9
172	R	23.0	0.58	3.0
173	R	7.9	0.20	0.4
174	R	6.7	0.17	0.2
175	R	8.4	0.21	0.1
176	R	13.7	0.34	0.3
177	R	10.0	0.25	0.2
178	T	12.1	0.30	0.6
179	T	12.3	0.31	1.1
180	T	17.2	0.43	2.0
181	T	12.5	0.31	0.4
182	T	18.6	0.47	1.2
183	T	13.5	0.34	1.1
184	T	11.1	0.28	1.0
185	T	11.1	0.28	1.0
186	T	10.9	0.27	0.7
187	T	13.0	0.33	1.0
188	L	271.7	6.83	23.3
189	L	226.3	5.69	14.7
190	L	78.4	1.97	2.0
191	L	399.6	10.04	85.7
192	L	388.6	9.77	57.1
193	L	351.7	8.84	51.4
194	L	417.5	10.49	71.4
195	L	388.4	9.76	65.7

Impregnante : Cu-HDO + 0,3 pH estabilizador

Concentración : 2,5 % p/v

Tiempo de presión : 4 horas

Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
196	R	18.1	0.45	1.3
197	R	20.7	0.52	2.1
198	R	20.9	0.52	3.5
199	R	42.2	1.06	6.4
200	R	15.8	0.40	1.0
201	R	30.2	0.76	3.3
202	R	32.7	0.82	4.1
203	R	32.7	0.82	4.6
204	R	18.1	0.45	1.7
205	R	16.0	0.40	0.9
206	T	14.4	0.36	1.1
207	T	12.8	0.32	0.9
208	T	13.0	0.33	0.7
209	T	21.8	0.55	2.6
210	T	16.9	0.43	1.0
211	T	15.1	0.38	0.9
212	T	25.1	0.63	2.7
213	T	25.5	0.64	2.6
214	T	17.2	0.43	0.8
215	T	20.2	0.51	0.9
216	L	215.4	5.41	20.0
217	L	126.7	3.19	6.7
218	L	51.3	1.29	3.3
219	L	161.6	4.06	13.3
220	L	137.5	3.46	4.7
221	L	96.5	2.43	6.7
222	L	268.4	6.75	26.7
223	L	67.9	1.71	3.3

Impregnante : Cu-HDO + 0,3 pH estabilizador

Concentración : 2,5 % p/v

Tiempo de presión : 8 horas

Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
280	R	22.7	0.57	0.8
281	R	67.8	1.70	4.4
282	R	23.4	0.59	2.6
283	R	54.3	1.36	1.3
284	R	13.7	0.34	0.4
285	R	15.1	0.38	0.2
286	R	22.0	0.55	1.4
287	R	24.6	0.62	0.4
288	R	18.3	0.46	0.3
289	R	16.7	0.42	0.3
290	T	30.6	0.77	1.2
291	T	19.0	0.48	1.0
292	T	18.1	0.45	0.9
293	T	19.0	0.48	0.8
294	T	48.5	1.22	2.9
295	T	29.0	0.73	0.7
296	T	24.1	0.61	2.0
297	T	19.0	0.48	0.6
298	T	19.0	0.48	0.9
299	T	18.8	0.47	1.1
300	L	151.7	3.81	3.3
301	L	180.4	4.53	6.7
302	L	477.5	12.00	94.3
303	L	453.4	11.39	71.4
304	L	366.5	9.21	54.3
305	L	442.3	11.11	71.4
306	L	469.7	11.80	71.4
307	L	444.9	11.18	71.4

Impregnante : Cu-HDO + 0,3 pH estabilizador

Concentración : 2,5 % p/v

Tiempo de presión : 8 horas

Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
308	R	25.3	0.64	1.0
309	R	25.1	0.63	1.8
310	R	28.1	0.71	2.6
311	R	40.8	1.03	2.0
312	R	25.1	0.63	2.5
313	R	41.8	1.05	5.9
314	R	60.3	1.52	6.3
315	R	45.2	1.14	5.0
316	R	29.7	0.75	1.8
317	R	50.6	1.27	4.9
318	T	20.0	0.50	0.4
319	T	19.3	0.48	1.0
320	T	16.5	0.41	1.0
321	T	20.2	0.51	1.4
322	T	20.2	0.51	0.7
323	T	24.4	0.61	1.4
324	T	29.7	0.75	2.7
325	T	17.6	0.44	0.9
326	T	19.0	0.48	0.9
327	T	32.7	0.82	4.5
328	L	254.7	6.37	26.7
329	L	97.6	2.44	4.0
330	L	422.6	10.56	20.0
331	L	167.2	4.18	3.3
332	L	162.1	4.05	6.7
333	L	126.6	3.16	10.0
334	L	114.1	2.85	3.3
335	L	266.4	6.66	13.3

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 2 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
416	R	46.4	1.17	0.6
417	R	69.6	1.75	4.0
418	R	92.8	2.33	18.0
419	R	116.0	2.92	18.5
420	R	46.4	1.17	2.0
421	R	46.4	1.17	0.6
422	R	23.2	0.58	1.4
423	R	139.2	3.50	20.9
424	R	46.4	1.17	1.3
425	R	46.4	1.17	1.8
426	T	23.2	0.58	1.3
427	T	116.0	2.92	12.7
428	T	69.6	1.75	0.8
429	T	69.6	1.75	1.6
430	T	69.6	1.75	11.2
431	T	69.6	1.75	2.2
432	T	69.6	1.75	4.6
433	T	46.4	1.17	1.9
434	T	46.4	1.17	7.4
435	T	16.2	0.41	0.9

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 2 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
436	R	116.0	2.92	4.9
437	R	46.4	1.17	3.5
438	R	23.2	0.58	2.6
439	R	69.6	1.75	9.0
440	R	69.6	1.75	5.8
441	R	92.8	2.33	5.7
442	R	23.2	0.58	0.9
443	R	23.2	0.58	1.6
444	R	16.2	0.41	0.8
445	R	92.8	2.33	3.9
446	T	46.4	1.17	4.5
447	T	46.4	1.17	3.1
448	T	69.6	1.75	4.8
449	T	92.8	2.33	6.7
450	T	46.4	1.17	3.4
451	T	162.4	4.08	10.8
452	T	46.4	1.17	11.9
453	T	92.8	2.33	4.3
454	T	23.2	0.58	2.0
455	T	5.4	0.14	3.3

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 4 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
336	R	69.6	1.75	10.7
337	R	46.4	1.17	6.5
338	R	46.4	1.17	3.0
339	R	46.4	1.17	2.6
340	R	46.4	1.17	4.4
341	R	46.4	1.17	12.5
342	R	23.2	0.58	2.4
343	R	139.2	3.50	27.7
344	R	116.0	2.92	20.7
345	R	46.4	1.17	2.4
346	T	23.2	0.58	6.0
347	T	46.4	1.17	5.1
348	T	23.2	0.58	7.5
349	T	23.2	0.58	10.0
350	T	6.6	0.17	4.3
351	T	23.2	0.58	10.0
352	T	92.8	2.33	11.6
353	T	116.0	2.92	27.4
354	T	69.6	1.75	10.4
355	T	10.8	0.27	10.3

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 4 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
356	R	46.4	1.17	5.7
357	R	46.4	1.17	3.3
358	R	46.4	1.17	3.9
359	R	394.5	9.91	100.0
360	R	46.4	1.17	3.0
361	R	46.4	1.17	3.2
362	R	46.4	1.17	8.3
363	R	17.0	0.43	1.1
364	R	23.2	0.58	3.1
365	R	116.0	2.92	24.3
366	T	23.2	0.58	5.8
367	T	23.2	0.58	2.1
368	T	116.0	2.92	19.1
369	T	69.6	1.75	23.8
370	T	46.4	1.17	12.1
371	T	69.6	1.75	11.5
372	T	16.4	0.41	1.3
373	T	185.6	4.66	38.0
374	T	46.4	1.17	9.4
375	T	92.8	2.33	11.9

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 8 horas
 Madera : Albura

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
376	R	139.2	3.50	21.1
377	R	185.6	4.66	26.4
378	R	92.8	2.33	10.7
379	R	69.6	1.75	12.2
380	R	69.6	1.75	5.9
381	R	69.6	1.75	4.7
382	R	69.6	1.75	6.4
383	R	162.4	4.08	20.7
384	R	69.6	1.75	4.1
385	R	69.6	1.75	5.0
386	T	69.6	1.75	7.1
387	T	46.4	1.17	6.3
388	T	208.8	5.25	35.9
389	T	69.6	1.75	5.6
390	T	208.8	5.25	29.1
391	T	46.4	1.17	5.1
392	T	139.2	3.50	14.3
393	T	116.0	2.92	14.3
394	T	116.0	2.92	10.3
395	T	27.1	0.68	8.9

Impregnante : CCA
 Concentración : 2,5 % p/v
 Tiempo de presión : 8 horas
 Madera : Duramen

N° Muestra	Dirección Penetración	Absorción l/m3	Retención kg/m3	Penetración %
396	R	46.4	1.17	6.4
397	R	139.2	3.50	7.7
398	R	69.6	1.75	17.9
399	R	232.0	5.83	31.8
400	R	12.2	0.31	1.8
401	R	69.6	1.75	7.1
402	R	46.4	1.17	3.2
403	R	69.6	1.75	14.6
404	R	23.2	0.58	1.9
405	R	46.4	1.17	7.0
406	T	23.2	0.58	2.9
407	T	69.6	1.75	10.4
408	T	116.0	2.92	18.9
409	T	116.0	2.92	0.2
410	T	23.2	0.58	3.5
411	T	46.4	1.17	6.0
412	T	16.8	0.42	2.6
413	T	23.2	0.58	2.9
414	T	69.6	1.75	11.9
415	T	48.7	1.22	38.0