



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Retención y penetración de sales CCA en rolletes de raleo de *Pinus radiata* D.DON.

Patrocinante: Sr. Roberto Juacida P.

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

VICTOR ALFREDO HUIRICÁN AGUILA

VALDIVIA

2008

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida P.	Nota <u>6,0</u>
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera L.	<u>5,3</u>
Informante:	Sr. Aldo Roller S.	<u>5,2</u>

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. De mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por lo demás integrantes del Comité de Titulación.

Sr. Roberto Juacida P.

AGRADECIMENTOS

Ante todo quiero agradecer a mis padres Alicia Aguila y Alfredo Huiricán por el gran apoyo y sacrificio que me brindaron durante todos los años de estudio, realizando sus mayores esfuerzos para que nunca me falte nada.

Además quiero agradecer a mi hermana Andrea y a su esposo Arturo los que me apoyaron de distintas maneras durante los años de estudiante universitario.

Agradecer a mis compañeros y amigos de la infancia que me apoyaron en todo momento. Con los cuales pase los mejores momentos de estudio y apoyo mutuo entre cada uno de nosotros.

Dar las gracias a Andrés y a don Marcos Torres los que me ayudaron en la estabilización de humedad de mis rolletes, al igual que el apoyo que me dio durante todos los meses que trabaje tanto en el laboratorio de pulpa como en el laboratorio de impregnación.

También quiero agradecer a mi profesor patrocinante Roberto Juacida y a los profesores Alfredo Aguilera y Aldo Roller los que me orientaron en la realización de mi estudio de tesis.

Y finalmente agradecer a las personas que trabajan en el Instituto de Tecnología de la Madera por dar siempre su máximo desempeño y apoyo para que podamos crecer como mejores personas y profesionales de la Universidad Austral de Chile.

Agradecer a mis padres y hermana
por todo el amor y comprensión que tuvieron.

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Factores que afectan la permeabilidad de la madera	3
2.2 Preservantes para la madera	4
2.3 Tratamientos de impregnación	6
2.3.1 Tratamientos en Autoclave	7
2.3.2 Proceso Bethell o célula llena	7
2.3.3 Proceso Rueping	8
2.4 Retención	8
2.5 Penetración	9
2.6 Absorción	10
2.7 Contenido de humedad	11
2.8 Densidad básica	12
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	14
3.1 Materiales	14
3.1.1 La madera	14
3.1.2 Sustancia impregnante	15
3.1.3 Equipos	15
3.2 Metología	16
3.2.1 Preparación de la muestra	16
3.2.2 Método de obtención de densidad	17
3.2.3 Método de obtención del contenido de humedad	17
3.3 Proceso de impregnación	19
3.4 Control de variables de impregnabilidad	20
3.4.1 Retención	20
3.4.2 Penetración	23

3.4.3	Absorción	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1	Análisis estadístico	26
4.1.1	Tabla resumen de Absorción, Retención y Penetración	26
4.1.2	Absorción de Impregnante relacionada con el Contenido de los	28
4.1.3	Penetración de Impregnante relacionada con el Contenido de	29
	humedad de los rolletes	
4.1.4	Retención de Impregnante relacionada con el Contenido de	30
	humedad de los rolletes	
4.1.5	Absorción de Impregnante relacionada con el Diámetro de los	32
	rolletes	
4.1.6	Penetración de Impregnante relacionada con el Diámetro de los	33
	rolletes	
4.1.7	Retención de Impregnante relacionada con el Diámetro de los	34
	rolletes	
5.	CONCLUSIÓN	36
6.	BIBLIOGRAFÍA	37

ANEXOS

Anexo 1. Abstract

Anexo 2. Valores de impregnación y análisis estadístico

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Diámetro de rolletes	14
Cuadro 2. Contenido de Humedad a alcanzar	18
Cuadro 3. Cantidad de probetas por carga	19
Cuadro 4. Retención por pesada de rolletes	23
Cuadro 5. Contenido de humedad en relación a la retención, penetración y absorción	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Auto-clave	7
Figura 2. Penetración en la madera	10
Figura 3. Planta de impregnación	15
Figura 4. Acondicionamiento de trozas	16
Figura 5. Ubicación de muestras para obtener contenido de humedad	16
Figura 6. Rodelas para obtención de densidad básica y contenido de humedad	17
Figura 7. Rolletes en proceso de impregnación	20
Figura 8. Ubicación del tarugo para determinación de retención en el rollizo	21
Figura 9. Ubicación de extracción del aserrín para calcinación	21
Figura 10. Crisoles con cenizas	22
Figura 11. Taladro de incremento y la extracción de muestras para Penetración	24
Figura 12. Análisis de penetración	24
Figura 13. Análisis de contenido de humedad en relación a la absorción	28
Figura 14. Análisis de contenido de humedad en relación a la penetración	29
Figura 15. Análisis de contenido de humedad en relación a la retención	31
Figura 16. Análisis de diámetro en relación a la absorción	32
Figura 17. Análisis de diámetro en relación a la penetración	33
Figura 18. Análisis de diámetro en relación a la retención	34

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general de este estudio consistió en la evaluación de la retención, penetración y absorción de la impregnación con sales hidrosolubles de Cobre-Cromo-Arsénico (CCA) de rolletes de raleo de *Pinus radiata*. Las variables consideradas fueron el contenido de humedad y diámetro de las piezas-muestra utilizadas.

Los rolletes utilizados provienen de predios de la Universidad Austral de Chile, en la cercanía de Valdivia. Y fueron seleccionados de acuerdo a sus diámetros entre 8 y 17 cm.

Los rolletes descortezados fueron perdiendo humedad hasta alcanzar los niveles establecidos en los rangos de contenido de humedad establecidos (80-90%; 50-60%; 20-30%).

Cuando los rolletes alcanzaron la humedad definida fueron impregnados mediante el proceso de vacío y presión. Se realizó 8 cargas con maderas de distintos diámetros.

Se midió densidad básica para la totalidad de la muestra. Se trabajó con una concentración del impregnante CCA al 2%. Se determinó absorción, retención y penetración.

En relación a los resultados obtenidos se puede concluir que los rolletes deben alcanzar contenidos de humedad entre 30/20%, para que logren retenciones óptimas y se encuentren en los rangos que pide la Norma Chilena, la que nos indica que las muestras deben alcanzar como mínimo 6 kg/m³ para este ensayo.

Palabras claves: Absorción, retención, penetración, diámetros, contenido de humedad, Pino insignie.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones de Pino radiata realizadas durante las últimas 3 décadas han permitido generar un gran desarrollo del sector forestal nacional. Con una alta tasa de crecimiento de los árboles se ha logrado materializar una diversidad de industrias de cosecha, transporte, aserrío y transformación de la madera.

Pero la madera de Pino radiata tiene baja durabilidad frente al ataque de hongos e insectos, lo que hace necesario impregnarla bajo un proceso de vacío y presión, con sales hidrosolubles siendo éstas las de mayor consumo en el mercado de los polines y estacas.

La tecnología actual para prolongar la vida útil de la madera y sus productos han permitido alcanzar metas aún poco significativas, en comparación con la vida natural que tienen muchas especies maderables.

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 tilósis 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.

Especial cuidado se debe tener en la impregnación de madera proveniente de raleos ya que su madera juvenil presenta un acelerado deterioro al estar en contacto con la tierra. Es por esto que se realizará un estudio de impregnación en rolletes provenientes de raleos, con edades de 9 a 17 años. Donde se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Evaluar la impregnabilidad con sales CCA de rolletes de Pino radiata provenientes de raleos en un proceso común de vacío presión.

Objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la variación del contenido de humedad en la absorción y penetración de sales CCA.
- Evaluar la importancia del diámetro del trozo en la absorción y penetración de sales CCA.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Factores que afectan la permeabilidad de la madera

Cada especie de madera tiene un comportamiento particular frente a la absorción y penetración de líquidos hacia el interior de su estructura leñosa como resultado de la aplicación de procesos de impregnación.

Tuset, (1979) plantea que los factores que afectan la penetración de líquidos en el interior de la madera pueden ser de carácter anatómico, la forma de preparación de la madera para su preservación, el tipo de preservador a utilizar y el tratamiento de preservación.

Sin embargo, Juacida (1991) dice que otro factor importante es el contenido de humedad de la madera al momento de ser impregnada. Variadas fuentes indican que es recomendable una impregnación cercana al punto de saturación de fibra.

Sin embargo el efecto del contenido de humedad inicial en proceso de impregnación y su efecto en la absorción con su variación no ha sido estudiado.

Igualmente la variación en diámetro de rolletes, a pesar de tener edades similares hace que los resultados de absorción sean diferentes. La proporción de madera temprana y tardía haría que el efecto de su densidad tenga influencia en la absorción de impregnante por parte de la madera. (Juacida, 1991).

Diversos factores influyen de una u otra manera en la impregnación de la madera y por ende en la conducción de líquidos dentro de ésta. La aptitud de la impregnación de las especies depende en gran medida de características de la misma. Dentro de estas características cabe señalar la estructura anatómica de la madera, donde los vasos en las latifoliadas y las traqueídas en las coníferas juegan un rol importante en el movimiento de los líquidos en el sentido longitudinal, al igual que los radios leñosos en el sentido radial, realizándose el paso de los líquidos entre células a través de las punteaduras. (Juacida, 1991).

El carácter anisótropo de la madera hace que las características de permeabilidad tengan variación según el sentido (longitudinal, radial y tangencial), mostrándose mayores absorciones en el sentido longitudinal y menores en el sentido radial y tangencial. (Juacida, 1991).

El contenido de humedad de la madera óptimo para impregnación está íntimamente ligado al proceso de protección al que será sometida la madera. Así maderas para postes tratadas mediante el proceso Boucherie requerirán del más alto contenido de humedad posible, incluso en estos casos se desea que la madera sea impregnada inmediatamente después de ser cortada. (Juacida, 1991).

En cambio, maderas que se desean preservar mediante métodos a vacío y presión requiere de un contenido de humedad cercano al punto de saturación de fibra, es decir, 30 y 35%. En esta situación es posible mencionar el Pino Insigne, Tepa, Ulmo, Álamo, entre otras. (Juacida, 1991).

2.2 Preservantes para la madera

Los preservantes son productos químicos de efectividad comprobada cuya formulación está normalizada y que se aplica en la madera con algún método de preservación. Pueden ser solubles en agua (hidrosolubles), solubles en solventes orgánicos y creosotados. Los preservantes hidrosolubles se presentan comercialmente en envases, ya sea en forma de polvo, líquido pastoso o pasta. (Fundación Chile, 1989).

La preservación aumenta la durabilidad de la madera, lo que permite que ciertas especies no durables se puedan transformar en elementos capaces de competir ventajosamente con las especies durables y con otros materiales.

Los preservantes varían en naturaleza, eficacia y costos; por eso, en su elección se debe tener en cuenta el uso al que se va a destinar la madera preservada, la vida que se requiere de ella y los aspectos económicos del tratamiento. (Hoheisel, 1988).

Clasificación de los preservantes:

- Creosota

La creosota para la preservación de madera es un destilado de alquitrán de hulla, producido por carbonización a temperatura elevada de la hulla bituminosa. (Hoheisel, 1988).

Son derivados del petróleo y la hulla. Este tipo de producto protector se caracteriza por su dificultad de penetración y por manchar la madera, haciendo incompatible la madera tratada con cualquier acabado de la madera. Sólo se utilizan para el caso de postes, rollizo, estacas y durmientes. (Vignote, 2000).

- Productos inorgánicos

A este grupo pertenecen los preservantes constituidos por sales metálicas, dobles o múltiples, que se solubilizan en agua.

En su composición intervienen sustancias de reconocido poder fungicida e insecticida, además de un fijador que impida su lixiviación de la madera tratada. (Hoheisel, 1988).

El disolvente es el agua. Se utiliza para el tratamiento de maderas húmedas (humedad entorno al 30%), aprovechando la difusión de las sales en el propio agua de la madera. Su aplicación está restringida a la industria de primera transformación (aserradero) o a la industria de rollizos y postes.

Es muy típico en las sales añadir a los productos protectores productos que mejoran su penetración, como es el caso del Bórax, que además de su carácter insecticida y fungicida complementario, baja la tensión superficial de la madera haciéndola más mojable y por tanto de más rápida y profunda penetración en la madera. (Vignote, 2000).

La mayor ventaja de este grupo de preservantes es la de conocerse perfectamente su componentes y sus porcentajes en la formulación. Además se pueden transportar en forma concentrada (polvos o pastas), ya que permiten el uso de agua como disolvente, no son fitotóxicos, no aumenta la inflamabilidad ni imparten olores a la madera y permiten buenos acabados con laca, barniz, o pinturas.

Sales más utilizadas:

- Arsénico-Cobre- Amoniacales (ACA).
- Cobre-Cromo- Arsénico (CCA).
- Cobre-Cromo- Boro (CCA).

- Productos orgánicos

Son sustancias hidrosolubles, muchas de ellas de gran toxicidad para los elementos biológicos y que presentan cualidades muy importantes tales como: no son corrosivas, tienen gran poder de penetración y no son inflamables una vez que el solvente se ha evaporado.

La madera impregnada con estos productos puede ser analizada fácilmente en el laboratorio y puede ser laqueada, barnizada o pintada, según convenga para su acabado.

Su eficiencia la deben a productos químicos definidos, cuyas concentraciones se pueden regular según convenga la aplicación. Variando los solventes se pueden crear muchas combinaciones para dar lugar a productos limpios, que no alteran la apariencia de la madera. (Hoheisel, 1988).

Entre los cuales podemos encontrar los siguientes productos orgánicos:

- Naftenatos.
- Pentaclorofenol.
- Oxido Tributyl Estannoso.
- Quinolinolato 8 de Cobre.

2.3 Tratamientos de impregnación

El método o procedimiento de aplicación del preservante tiene gran influencia en el resultado del tratamiento. La preservación más eficiente es aquella en que la madera contiene la cantidad justa y necesaria de preservantes para el uso que se le va a dar. Sin embargo, cabe destacar que hasta la fecha no se ha logrado idear un método práctico para preservar que garantice una penetración profunda y uniforme en todos los tipos de madera y a un costo razonable. (Hoheisel, 1988).

Existen numerosos métodos de tratamientos para preservar madera atendiendo a las características propias de estas y al uso final a que se las destina. De una manera sintética, la preservación de la madera consiste en la introducción, por variados medios, de producción química que aumentan su resistencia a los agentes que afectan, para lograr un aumento considerable de su vida útil una vez puesta en servicio. Procedimientos para conseguir dicho objetivo. (Tuset 1979).

Los métodos de preservación protegen la madera a largo plazo y se dividen en los siguientes tres procesos:

- 1) Procesos sin presión (Brocha, rodillos, aspersión, inmersión, baño caliente y frío, por difusión).
- 2) Procesos a presión (Proceso bethell, rueping, lowry).
- 3) Procesos especiales (Boucherie).

Indudablemente, los métodos de preservación sin presión son los más simples para tratar madera, siendo también simples los equipos que se utilizan ya que son únicamente a presión atmosférica. En cambio, los métodos a presión y vacío son más complejos y requieren de autoclave para inyectar el preservante en la madera con ayuda de una presión alta en el rango de 8 a 14 kg/cm². Por ultimo, el tercer grupo corresponde a los métodos para tratar madera bajo la acción de ligeras presiones, pero sin el uso de autoclave. (Hoheisel, 1988).

Los procesos con presión se han estudiado con mayor profundidad ya que estos si se elige un adecuado preservante es posible proteger la madera efectivamente y de mejor manera que los métodos sin presión.

En general tales procesos tiene un número definido de ventajas sobre los métodos sin presión, se destaca en la mayoría de los casos una penetración mas profunda y uniforme y una mas alta absorción, además las condiciones de tratamiento pueden ser controladas tales como: la retención y penetración, estas pueden ser variadas según los requerimientos del servicio, de esta manera resulta un uso más económico del preservante. (Ojeda, 2000).

2.3.1 *Tratamientos en Autoclave:*

Con este tratamiento se puede conseguir una protección media a profunda.

El tratamiento en autoclave consiste en introducir productos fungicidas e insecticidas sometiendo a la madera a un vacío inicial y a una posterior inmersión, pulverización o presión (dependiendo de tipo de tratamiento), de los productos impregnantes, para recuperar finalmente el producto sobrante con un vacío final.

Para poder garantizar una adecuada absorción de estos productos hay que asegurar que el material se encuentra relativamente seco (humedad inferior al 25%) antes de introducirse en el autoclave, de no ser así no se puede asegurar una correcta retención del producto en la madera.

A continuación se puede ver un autoclave cargado con madera.



Figura 1. Auto-clave.

2.3.2 *Proceso Bethell o célula llena*

Mediante este método se procura inyectar a la madera la mayor cantidad de líquido preservante posible, dejando la máxima concentración del producto químico en la zona tratada. La madera debe estar libre de corteza y debe mantener las formas y medidas finales o de uso, además debe ser cubificada para su posterior tratamiento.

El proceso se inicia cuando la madera se introduce el autoclave y se da comienzo a un vacío inicial, de aproximadamente 600 mm de mercurio al nivel del mar por un periodo que depende del tipo de madera a tratar (de 15 a 60 minutos). Luego se deja pasar el preservante hasta que llene el autoclave, con una bomba a presión se comprime la solución en el autoclave utilizando presión de 8 a 14 kg/m² y se va midiendo la cantidad de preservante que va penetrando en la madera; la presión se mantiene hasta obtener la retención fijada o hasta que se produzca el rechazo virtual por parte de la madera. Terminado el proceso de impregnación, se devuelve el líquido de tratamiento al tanque de trabajo o almacenamiento. Antes de retirar la

carga de madera tratada se puede practicar un vacío final por espacio de pocos minutos, con el objetivo de lograr que escurra de la madera el exceso de preservante antes de abrir la puerta del autoclave. En el caso de utilizarse preservantes oleosos, creosotas o pentaclorofenol, la temperatura adecuada se debe mantener durante todo el proceso.

El proceso célula llena tiene por objetivo llenar las cavidades de las células con solución preservante, logrando así retenciones máximas. (Hoheisel, 1988).

2.3.3 Proceso Rueping

Este método se emplea generalmente para tratamientos en caliente con creosota o pentaclorofenol. Tiene como característica principal la aplicación de una presión preliminar de aire a la madera, antes de inyectar el preservante caliente oleosoluble; está presión inicial suele ser de 4 a 5 kg/cm². Luego se llena el autoclave con el producto químico impregnante, de manera que el aire inyectado queda aprisionado en la madera. El preservante está contenido en un recipiente denominado tanque RUEPING, que se encuentra a cierta altura sobre el autoclave y a la misma presión del aire comprimido en éste. Por medio de tuberías se deja fluir el preservante en el autoclave, mientras el aire asciende al tanque RUEPING para ocupar el espacio que deja el preservante. Una vez que se ha cumplido con esto, se hace penetrar el preservante oleosoluble dentro de la madera mediante la aplicación de una presión mayor, hasta obtener la absorción deseada, comprimiendo aún más el aire que había quedado aprisionado en la madera. Finalmente, se disminuye la presión, se vacía el autoclave y se somete la carga a un vacío final, como en el procedimiento Bethell. (Hoheisel, 1988).

2.4 Retención

Esta referida a los kilos de preservante, ya sea en forma sólida o solución, que han sido absorbidos por un metro cúbico de madera. A esto debe hacerse notar la existencia de madera que son impregnadas en su totalidad mientras que otras, como el eucalipto, solo es posible impregnar la albura. (Tuset, 1979).

La retención es equivalente a la absorción neta y se expresa en kilos de sustancia activa (óxido de preservante) por metro cúbico. En caso de oleosolubles, la absorción o retención neta también se expresa en kilogramos de sustancia activa en cada kg/m³. (Hoheisel, 1988).

Método cuantitativo en determinación de sal preservante retenido en madera.

- Incineración de la madera a 575± 25°C (TAPPI T 212 om-85)
- Pesar un crisol de porcelana.
- Introducir 10 gramos de aserrín anhidro o su equivalente húmedo.
- Llevar a mufla de calcinación por 4 horas a 575°C.

- Cumplido este tiempo, deje enfriar, retire el crisol depositándolo en un desecador y pese en una balanza analítica. (NCh 755 Eof 71).

2.5 Penetración

Es la profundidad que alcanza el preservante en la madera tarada. Para que la inyección sea profunda, la madera debe estar seca y descortezada, salvo en el caso de tratamientos especiales por capilaridad, difusión u osmosis, en donde se requiere madera húmeda. La penetración también está influenciada por la naturaleza del preservante.

Cuando más profunda sea la zona penetrada por el preservante, mejor será la protección de la madera. (Hoheisel, 1988).

Determinación cualitativa de pentaclorofenato de sodio.

Los métodos que se indican a continuación son válidos para el Basilio PN y para la mayoría de los tipos de Basileum.

Comprobación cualitativa en madera.

Reactivos:

1. Solución tamponada.
2. reactivo I.
3. reactivo II.

Composición.

Solución tamponada: Se disuelven 14.15g de Borax cristal y 8.17g de Fosfato monopatásico (KH_2PO_4) en agua destilada hervida, que se agrega hasta completar.

- I. Se disuelven 0.5g de 1-Pheny1-2-3-dimethyl-4-aminopyrazolon-(5) en agua destilada, que se agrega hasta completar 100ml.
- II. Se disuelven 6g de ferricianuro potásico ($\text{F}_3\text{Fe}(\text{CN})_4$) en agua destilada que se agrega hasta completar 100ml.

Los reactivos I y II deben conservarse en lugares oscuros y por un tiempo no mayor a 14 días.

La probeta de madera debe tratarse con las tres soluciones, que se aplican con pulverizador o por medio de toques con pincel.

Entre cada aplicación de las soluciones debe dejarse reposar durante aproximadamente 3 minutos. Debe llevarse a cabo primeramente la prueba con la solución tamponada, luego con el reactivo I y finalmente con el reactivo II.

La zona impregnada con Pentaclorofenol adquiere después de un lapso breve de tiempo un color verde gris azulado; el resto de la madera toma un color rojo. La zona azul verdosa debe marcarse inmediatamente con un lápiz (a pasta o semejante), pues luego de unos momentos desaparecen los colores.

La composición no tiene éxito en madera de haya.

Sobre la madera fuertemente coloreada la comprobación no siempre se puede efectuar claramente.

Durante ningún momento de la prueba debe sobrepasarse al 30% de húmeda de la madera; dado el caso, debe secarse previamente. (NCh 755 Eof 71).

A continuación se da a conocer una pieza de madera pulverizada en su superficie.

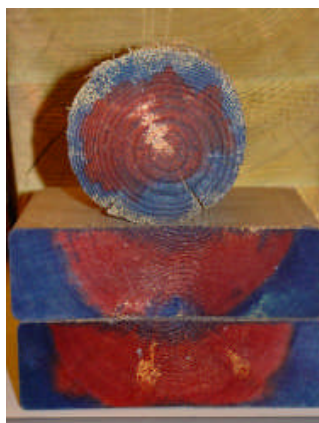


Figura 2. Penetración en la madera.

2.6 Absorción

Los tratamientos a vacío- presión requieren que la madera esté seca, es decir por debajo del punto de saturación de la fibra (25 a 28% de contenido de humedad), para que pueda absorber el preservante.

La absorción en pino insigne es de 400 l/m^3 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/m^3 , el pino oregón presenta una absorción de 180 l/m^3 en albura y 30 l/m^3 en duramen, por lo tanto es una especie no apta para recibir tratamiento de impregnación. (Fundación Chile, 1992)

Es la cantidad total del preservante que queda en la madera después de la impregnación. La absorción depende del sistema de impregnación utilizado, de la humedad ya característica de la madera a tratar y de la naturaleza del producto químico preservante. (Hoheisel, 1988).

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).

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. (Salas ,2005).

La proporción de albura y duramen también influye en la absorción. Mientras la albura, por ser porosa es más permeable, el duramen, muchas veces con obstrucciones que lo hacen poco receptivo, puede resultar impermeable. Al respecto, se debe mencionar que existen maderas muy fáciles de impregnar, otras resultan imposibles de preservar y entre estos dos extremos se ubican muchas que resultan moderadas o difíciles al tratamiento; en consecuencia, se hace necesario clasificar las maderas según sus características de absorción. (Hoheisel, 1988).

En general, dado el gran número de factores que intervienen en las absorciones, hay que basarse en determinaciones previas para poder llegar a un valor confiable de la absorción. Para ello, lo más conveniente es pesar la madera antes y después del tratamiento y aplicar luego la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\frac{p_2 - p_1}{d}}{V}$$

Donde:

A = Absorción (/m³).

p₂= Peso final de los rolletes impregnados (kg).

p₁= Peso inicial de las trozas sin impregnar (kg).

V= Volumen de madera (m³).

d= densidad solución impregnante (kg/l).

2.7 Contenido de humedad

El contenido de humedad de la madera cercano al PSF proporciona un volumen físico a la solución preservante y posibilita fenómenos 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 traqueídas están sin agua pero las paredes celulares todavía conservan la suya. Esto sucede aproximadamente a un 30% de contenido de humedad de la madera. (Salas, 2005).

Por otra parte Rodolfo Contardo G.G. Maderas Con Con 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 especificada para los productos que se trate. (Salas, 2005).

El contenido de humedad de la carga es crítico para la penetración del preservante, el cual debe ser menor al 30%, siendo lo más recomendable trabajar con una humedad no superior al 25% medida en la zona a tratar. (Fundación Chile, 1998).

El contenido de humedad de la madera se calcula con la siguiente expresión.

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

Ch = Humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso anhidro.

Ph = Peso de la madera en su estado húmedo o peso inicial.

Ps = Peso de la madera en estado anhidro, peso final o constante. (NCh 176/1 of 84, 1984).

2.8 Densidad básica

La densidad de la madera expresa la relación entre la masa de los distintos tipos de elementos que forman la madera y el volumen que ellos ocupan. Como la madera es un material poroso, debe considerarse al referirse a la densidad de la madera el volumen interno de espacios vacíos existentes.

La densidad básica es una de las características más representativas de la mayoría de las propiedades y singularidades de la madera, es por ello que se usa generalmente como parámetro de evaluación (Lüders, C., 1999). La densidad, está descrita como la característica física más importante de la madera, y dentro de los criterios más usados para determinar la calidad de la madera es la más significativa, ya que se relaciona directamente con la resistencia mecánica de ésta.

Si se desea determinar la densidad básica de la madera, se debe saturar con agua la muestra de madera, luego medir el volumen por inmersión o por medición directa y posteriormente secar en estufa a 103 °C por 24 horas para obtener la masa anhidra de la muestra de madera.

Una forma muy práctica de medir el volumen esta basado en el principio de Arquímedes, esto es, se pesa un recipiente con agua y luego en el mismo recipiente con agua se introduce la madera sumergiéndola completamente y se vuelve a pesar el recipiente con la madera sumergida en él. La diferencia de peso es igual al volumen de la muestra de madera, ya que se asume que la densidad del agua es igual a 1 g/cm³. (NCh 176/2 of 86, 1988).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología, se basa en la impregnación de rolletes de raleo de *Pinus radiata*, con el fin de determinar la retención, penetración y absorción con diferente contenido de humedad, y diferentes diámetros. A continuación se describirán los materiales y la metodología a utilizar en la impregnación de rolletes de raleo de *Pinus radiata* y sus respectivos controles.

3.1 Materiales

3.1.1 La madera

La totalidad de las muestras de rolletes de raleo de *Pinus radiata* utilizadas corresponden a 28 unidades en su totalidad sin corteza. Estas se obtuvieron de madera manejada en los predios las Palmas, ubicados a 20 km de Valdivia.

Estos árboles fueron obtenidos por medio de una extracción selectiva de acuerdo a las necesidades del estudio. La densidad de la madera es de 400 kg/ m³ aproximadamente y su diámetro oscila entre los rangos que se presentan en el cuadro 1:

Cuadro 1. Diámetro de rolletes.

Nº	D. menor	D. mayor
1	8	13
2	10	11
3	10	12
4	10	14
5	11	13
6	11	13
7	11	16
8	12	14
9	13	14
10	13	14
11	13	15
12	13	15
13	13	18
14	14	14
15	14	15
16	14	16
17	14	16
18	14	16
19	14	16
20	14	16
21	14	17
22	15	15
23	15	15
24	15	17
25	15	17
26	16	17
27	16	18
28	17	18

3.1.1 Sustancia impregnante

La sal utilizada es una sal hidrosoluble de Cobre-Cromo-Arsénico (CCA). Estas sales son eficientes en la protección de madera en contacto con el suelo. Se preparó a una concentración del 2% (peso/volumen). El nombre comercial de esta sal es Timberlux con un 70% de óxidos.

3.1.2 Equipos:

- Como equipamiento se empleó la planta piloto de impregnación marca Maschinenbau Sholz co. Apparatebau, capacidad del cilindro 570 litros, presión máxima 21 atm, vacío máximo de -1 kp/cm², bomba de vacío marca Westinghouse, a continuación ver figura 3.



Figura 3. Planta de impregnación.

- Crisol de porcelana.
- Mufla, Thermoline, tipo 1500 furnace, temperatura máxima de 1200 grados Celsius.
- Balanza electrónica, marca Santorius 1219 mp. (Precisión 0.001 gr.)
- Desecador con capacidad de 5 lts.
- Taladro de incremento.
- Romana.
- Estufa de secado.

3.2 Metodología

Este estudio se basa en impregnar rolletes de madera de *Pinus radiata*, en los cuales se determinó retención, penetración y absorción en la madera con diferente contenido de humedad y con diferente tipo de diámetro. Se utilizó el sistema de impregnación Bethell, el que radica en un método de tratamiento con presión y vacío, el cual se desarrolló en ocho cargas de madera con diferente contenido de humedad y diámetros de rolletes.

3.2.1 Preparación de la muestra

Las muestras para su acondicionamiento con respecto al contenido de humedad, fueron apiladas al exterior e interior del laboratorio de impregnación. Como se muestra en la figura 4, al momento de permanecer con un contenido de humedad estable fueron derivadas al laboratorio de celulosa, para un mejor secado y lograr los contenidos de humedad definidos para este estudio.



Figura 4. Acondicionamiento de trozas.

En la figura 5 se muestra como se obtuvieron las muestras para obtener el contenido de humedad inicial de la madera, estas muestras tienen un espesor de 3 cm aproximadamente, y de cada uno de los 28 rolletes se extrajeron 2 rodajas.

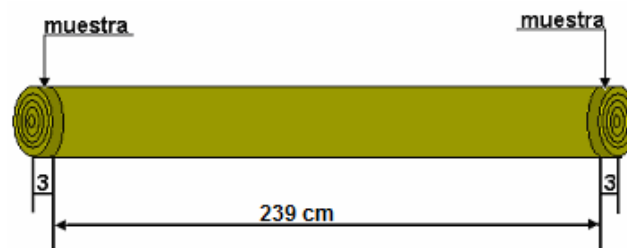


Figura 5. Ubicación de muestras para obtener contenido de humedad.



Figura 6. Rodelas para obtención de densidad básica y contenido de humedad.

3.2.2 Método de obtención de densidad

La densidad básica se determinó por medio de la norma NCh176/2 of 86.

Para la obtención de los datos de densidad básica, se saturaron en agua todas las rodelas durante un período de 2 días obteniendo el volumen sumergido por medio del volumen de desplazamiento de agua, en la figura 6 se pueden ver algunas rodelas del total del utilizadas.

Posterior al saturado de las muestras, estas son llevadas a estufa a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta obtener un peso constante el que corresponde al peso anhidro.

La densidad básica se obtuvo por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad básica} = \frac{\text{Peso anhidro (kg)}}{\text{Volumen sumergido (cm}^3\text{)}}$$

3.2.3 Método de obtención del contenido de humedad

El contenido de humedad se obtuvo por medio de diferencia de pesada de los rolletes, la cual está, establecida en la norma NCh176/1 of 84.

El contenido de humedad que debían alcanzar los rolletes se calculó por medio de la densidad básica despejando los valores requeridos por cada rollete, separadas en 3

grupos, entre 90/80 Ch%, 60/50 Ch%, 30/20 Ch%. A continuación se muestra los contenidos de humedad entre los cuales se debían distribuirse los rollizos.

Cuadro N° 2. Contenido de Humedad a alcanzar.

N° de rolletes	Contenido de humedad					
	90%	80%	60%	50%	30%	20%
	Peso humedo (kg)		Peso humedo (kg)		Peso humedo (kg)	
1	38	35,7	31,7	29,75	25,78	23,80
2	25	24,1	21,4	20,10	17,42	16,08
3	37	35,4	31,5	29,54	25,60	23,63
4	28	26,4	23,5	22,04	19,10	17,63
5	21	19,7	17,5	16,38	14,19	13,10
6	40	38,0	33,8	31,65	27,43	25,32
7	35	33,1	29,4	27,59	23,91	22,07
8	32	30,7	27,3	25,60	22,18	20,48
9	16	15,1	13,4	12,59	10,91	10,07
10	16	15,4	13,6	12,79	11,09	10,23
11	47	44,5	39,5	37,04	32,10	29,63
12	26	24,4	21,7	20,35	17,63	16,28
13	34	32,2	28,6	26,81	23,23	21,44
14	30	28,1	25,0	23,41	20,29	18,73
15	22	20,4	18,1	16,98	14,71	13,58
16	16	15,6	13,8	12,98	11,25	10,38
17	25	23,6	21,0	19,65	17,03	15,72
18	30	28,3	25,1	23,56	20,42	18,85
19	22	20,4	18,2	17,03	14,76	13,62
20	20	19,3	17,1	16,06	13,92	12,85
21	36	33,9	30,2	28,27	24,50	22,62
22	35	32,7	29,1	27,27	23,63	21,82
23	32	30,1	26,8	25,10	21,75	20,08
24	18	16,6	14,8	13,85	12,00	11,08
25	46	43,7	38,8	36,39	31,54	29,11
26	10	9,2	8,2	7,66	6,63	6,12
27	25	23,9	21,3	19,96	17,30	15,97
28	30	28,9	25,7	24,05	20,84	19,24

Las piezas se mantuvieron en acondicionado durante un período de 4 meses aproximadamente, durante las primeras semanas fueron pesadas con el fin de verificar el peso y la humedad que en ese momento tenían. Todo esto se realizó por diferencia de pesada, utilizando como herramienta principal la romana antes descrita.

Los rolletes de madera hasta su corta tenían un contenido de humedad alto. Estas piezas se encontraron desde 198 a 99% en el contenido de humedad. Las primeras piezas alcanzaron el contenido de humedad requerida en el laboratorio de impregnación en un periodo de 4 meses, limpiando las muestras para que no se llenaran de hongos y así sucesivamente hasta que no variaron más en el contenido

de humedad, las demás fueron llevadas al laboratorio para obtener los contenidos de humedad faltantes las cuales eran pesadas día por medio verificando su pesada y contenido de humedad que llevaba.

Al final de un mes de secado natural los rollizos alcanzaron la humedad requerida por dichos cálculos. Con esta información se obtuvo el contenido de humedad de la madera por medio de la siguiente fórmula.

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

El número de muestras utilizadas en las cargas con sus respectivos contenidos de humedad se exponen en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Cantidad de probetas por carga.

N° de muestras	Contenido de humedad %
10	90/80
10	60/50
8	30/20

3.3 Proceso de impregnación

El programa de impregnación utilizado para las 8 cargas fue definido en base antecedentes bibliográficos.

Para el siguiente estudio se debe considerar un vacío inicial de 0.1 atmósfera durante 15 minutos. Posterior a esto y continuando con la secuencia de proceso Bethell una presión de 10kg/cm², la absorción por carga y un vacío final de 0.1 atmósfera por un periodo de 5 minutos.

En este proceso lo primero que se debe hacer es definir la cantidad de sal que debe ingresar a la madera en forma de solución, se deben seleccionar las muestras a impregnar. Se cierra el cilindro de impregnación se enciende la bomba de vacío para eliminar el aire que se encuentra en la madera, se debe accionar el inyector y compresor con la finalidad de aplicar la presión necesaria para cada uno de los tratamientos realizados, llegando hasta una presión de 10kg/cm². Esta dependerá de la humedad de los rolletes y la cantidad de solución a penetrar por cada carga. Finalizada la absorción por cada carga se apaga el inyector y compresor liberando a la madera de está presión, al momento de llegar a presión atmosférica se le aplica un pequeño vacío eliminando el impregnante innecesario.

Además hay que tener en consideración que a diferente contenido de humedad el programa de impregnación permanecerá constante. Sólo variando el tiempo de absorción, la humedad y el diámetro de los rolletes.

En la figura 7 se observa rolletes impregnados bajo proceso Bethell, los cuales antes de entrar al cilindro de impregnación fueron sometidas a un secado natural. Con esto se obtienen piezas con menores grietas y defectos.



Figura 7. Rolletes en proceso de impregnación.

3.4 Control de variables de impregnabilidad

El control de la impregnación se midió en términos de retención del impregnante (kg/m^3), penetración (%) y absorción (l/m^3).

3.4.1 Retención

Se refiere a la cantidad de preservante que se requiere introducir por cada metro cúbico de madera efectiva a tratar, además hay que tener consideración que la impregnación de madera de *Pinus radiata* está especificada en la Norma Chilena (NCh 631 Of 2003), en la que se especifica el grupo y el uso que se le dará a ese tipo de pieza.

En este caso la retención es de 6 kg/m^3 de sal especificada en la Norma Chilena (NCh 819.of96), de acuerdo al contenido total de óxidos en el preservante, pero si se expresa en Kg de sal da una retención de 8.57 kilos de sal por metro cúbico.

De cada uno de los rolletes se extrajo un tarugo de 5 mm de diámetro y de largo igual a la mitad del diámetro de la sección transversal de la pieza, a una distancia igual a 500 mm del extremo de mayor diámetro. A cada una de las unidades de muestreo se debe evitar cortar la probeta en zonas de nudos o bolsas de resinas, grietas, hendiduras o incisiones (figura 8).

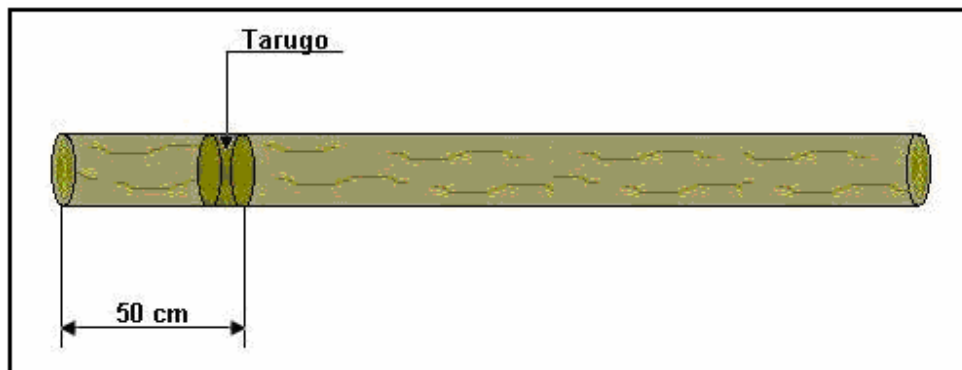


Figura 8 Ubicación del tarugo para determinación de retención en el rollizo.

La retención fue medida tanto por calcinación como por pesada.

Las mediciones de retención por calcinación se realizaron en el laboratorio de celulosa y papel, donde se obtuvo aserrín de los rollizos impregnados para su posterior calcinación.

De las perforaciones que quedaron en los rolletes producto de la extracción de muestras se perforó con una broca de 12 mm de diámetro los mismos orificios, los que entregaron aproximadamente 15 gr de aserrín impregnado por cada rollete, en la figura 9 se puede ver los orificios y taladro ocupado en la operación de extracción. Esto se realizó con cada uno de los 28 rolletes impregnados.



Figura 9 Ubicación de extracción del aserrín para calcinación.

La metodología consistió en:

Pesar crisol de porcelana antes de ser llenado con la muestra, introducir aserrín a los crisoles de porcelanas y llevarlos a estufa hasta obtener un peso constante,

posteriormente se deben llevar a mufla a temperatura de 575+- 25° C (Tappi t 211 om-85) por un periodo de 4 horas aproximadamente.

Terminado el tiempo de incineración, se espera a que baje a una temperatura de 80° C. Los crisoles fueron tomados con pinzas metálicas y llevados al desecador por una hora. Enseguida son pesados en balanza electrónica para obtener la cantidad de cenizas e impregnante que poseía cada rollete, ver figura 10.



Figura 10 Crisoles con cenizas.

Triturado de las rodelas utilizadas en la determinación de contenido de humedad. Con el aserrín se debe hacer los mismos procedimientos antes efectuados, con esto se consiguió el contenido de ceniza real que tiene cada uno de los 28 rollizos utilizados en la impregnación.

Posterior a esto se debe calcular:

$$\text{Retención} = \frac{\text{Kilos de sal como óxido}}{\text{Volumen de madera (m}^3\text{)}}$$

Cálculo de la retención por pesada. En este punto se debe pesar los rolletes al inicio de la impregnación. Esto se hace por medio de una romana la que es trasladada al laboratorio de impregnación, como también al término de la impregnación, con estos valores se obtiene la retención por pesada final.

Cuadro 4. Retención por pesada de rolletes.

N° Trozas	Humedad %	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Volumen (m3)	Retención (kg/m3)
27	90/80	22,2	31,4	0,035	5,22
20	90/80	19,5	26,4	0,030	4,66
18	90/80	29,6	36,3	0,042	3,20
16	90/80	15,1	21,5	0,023	5,57
12	90/80	24,9	29,0	0,035	2,34
4	90/80	27,8	39,0	0,035	6,37
10	60/50	12,4	21,0	0,023	7,56
17	90/80	24,4	34,5	0,032	6,28
19	90/80	20,7	32,3	0,029	8,02
5	60/50	17,7	23,8	0,025	4,96
7	60/50	28,3	38,3	0,041	4,89
11	60/50	34,0	55,5	0,054	7,93
13	60/50	28,6	47,5	0,047	8,10
1	30/20	18,5	29,5	0,032	7,03
28	90/80	25,1	38,8	0,039	6,99
24	60/50	14,5	22,0	0,025	6,15
1	60/50	31,5	50,0	0,045	8,28
6	60/50	31,5	50,5	0,046	8,33
14	90/80	29,5	40,0	0,045	4,74
3	30/20	27,0	44,5	0,042	8,36
9	30/20	12,0	22,0	0,023	8,87
15	30/20	14,5	23,5	0,029	6,19
21	30/20	26,5	46,0	0,048	8,12
8	30/20	24,5	36,0	0,045	5,14
23	60/50	25,5	36,5	0,045	4,89
26	30/20	8,0	13,5	0,016	7,06
22	60/50	28,0	42,5	0,048	6,04
25	30/20	33,5	44,0	0,049	4,31

3.4.2 Penetración

El análisis de penetración se realizó por medio de una prueba calorimétrica cualitativa, la que consistió en la aplicación de Cromo Azurol de acuerdo a la Norma Chilena (NCh 631 Of 2003). El análisis se realizó cuando las muestras se encontraron secas.

Las muestras para obtención de penetración son extraídas con un taladro de incremento, el que perfora el rollete hasta sacar una muestra de 5 mm de diámetro. En la figura 11 se ve como se trabaja con el taladro de incremento.



Figura 11 Taladro de incremento y la extracción de muestras para Penetración.

Esta solución se preparó y utilizó de la siguiente forma:

- Disolver 0.5 gramos de Cromo Azurol y 5 gramos de Acetona de Sodio.
- Posteriormente pulverizar la solución de Cromo Azurol sobre la superficie de los tarugos tratados.
- Un color azul intenso indicara la profundidad y zona de la penetración del preservante, la zona no penetrada estará marcada o indicada con un color rojo.

En la figura 12 se aprecia la superficie que se encuentra pulverizada con cromo azurol, en la cual se muestra como es la penetración en la madera.



Figura 12. Análisis de penetración.

3.4.3 Absorción

Para la determinación de absorción (l/m^3) se aplicó la siguiente fórmula:

$$A = \frac{\frac{p_2 - p_1}{d}}{V}$$

Donde:

A = Absorción (l/m^3).

p2= Peso final de los rolletes impregnados (kg).

p1= Peso inicial de las trozas sin impregnar (kg).

V= Volumen de madera (m^3).

d= densidad solución impregnante (kg/l).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de impregnación de rolletes obtenidos en la absorción, penetración y retención. Además se incluyen las variaciones en el contenido de humedad y los diámetros.

4.1 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statgraphics 5.1 en el cual se realizó análisis estadístico descriptivo y análisis de varianza para variables dependientes. Con el análisis de varianza se puede inferir las interacciones entre los factores y efectos entre ellos: las variables a diferentes contenidos de humedad, diámetros, absorción, retención y penetración.

4.1.1 Tabla resumen de Absorción, Retención y Penetración

El número de rolletes impregnados fue de 28 piezas las cuales variaban en diámetro, contenido de humedad, obteniendo resultados tanto para la absorción, penetración y retención, los que se muestran en el cuadro 5.

A continuación se pueden ver los valores máximos, medios y mínimos analizando la absorción, retención y finalmente la penetración. También se incluye los promedios alcanzados durante los tres rangos de contenidos de humedad utilizados.

El contenido de humedad y los diámetros se agrupan en tres rangos, y se indica la cantidad de rolletes que compone cada grupo. Posteriormente se trabajan las diferentes variables para obtener las diferencias significativas correspondientes.

Cuadro 5. Contenido de humedad en relación a la retención, penetración y absorción.

CH%	Nº	Absorción lt/m3	Retención kg/m3	Penetración %
20-30	1	349,8	7,03	73
20-30	2	416,1	8,36	94
20-30	3	255,5	5,14	80
20-30	4	441,2	8,87	90
20-30	5	308,1	6,19	95
20-30	6	404,1	8,12	91
20-30	7	214,5	4,31	93
20-30	8	351,1	7,06	93
Promedio		342,56	6,89	88,63
Desviación		79,48	1,60	7,87
50-60	1	411,9	8,28	82
50-60	2	246,8	4,96	66
50-60	3	414,4	8,33	96
50-60	4	243,5	4,89	69
50-60	5	375,9	7,56	70
50-60	6	394,7	7,93	75
50-60	7	402,9	8,10	79
50-60	8	300,5	6,04	91
50-60	9	243,1	4,89	96
50-60	10	306,0	6,15	68
Promedio		333,96	6,71	79,20
Desviación		73,55	1,48	11,63
80-90	1	235,8	4,74	89
80-90	2	116,3	2,34	65
80-90	3	316,9	6,37	91
80-90	4	277,3	5,57	88
80-90	5	312,4	6,28	88
80-90	6	159,1	3,20	52
80-90	7	398,8	8,02	93
80-90	8	232,1	4,66	91
80-90	9	259,5	5,22	58
80-90	10	347,6	6,99	52
Promedio		265,58	5,34	76,70
Desviación		85,05	1,71	17,60

En el cuadro 5 se puede observar la absorción, retención y penetración con sus diferentes rangos de humedad y cada uno de ellos con sus respectivos promedios y desviaciones estándar,

4.1.2 Absorción de Impregnante relacionada con el Contenido de Humedad de los rolletes

En la figura 13 se muestra el promedio de las 28 piezas en relación con su contenido de humedad y absorción alcanzada por cada una de ellas, mediante los diferentes ciclos de impregnación a que fueron sometidas.

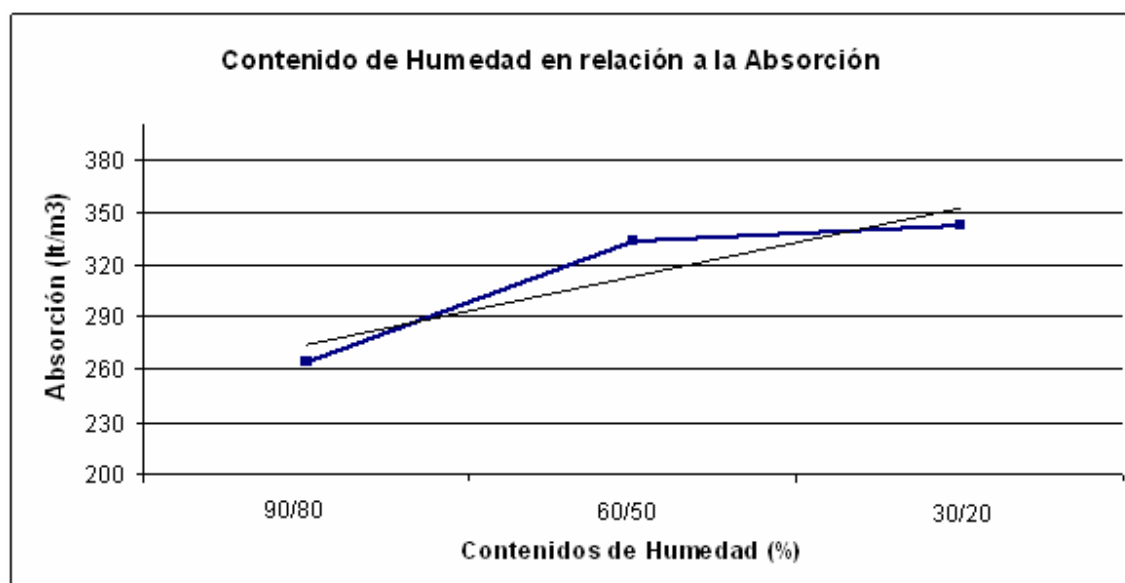


Figura 13. Análisis de contenido de humedad en relación a la absorción.

De acuerdo al análisis estadístico de varianzas no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0.0884) que se obtuvo es superior a 0.05. Es decir, no tiene efecto estadísticamente significativo en la absorción de rolletes para un nivel de confianza del 95%.

Es decir, hay relación directa pero estadísticamente no significativa entre el contenido de humedad de los rolletes y la absorción. Se puede apreciar que entre el contenido de humedad 90/80% y 60/50% hay una diferencia en la absorción de 69.72 l/m³, entre en contenido de humedad 60/50% y 30/20% se llegó a una pequeña diferencia en la absorción de 8.6 l/m³, pero la mayor diferencia se encontró entre los contenidos de humedad 90/80% y 30/20%, la cual muestra una variación de absorción de 78.32 l/m³.

Esto quiere decir que mientras los rollizos de *Pinus radiata* pierden humedad o alcanzan la humedad fijada entre los 3 rangos de trabajo, la absorción aumenta.

A medidas que disminuye el contenido de humedad; la absorción aumenta, debido a que los rollizos pierden humedad desde los extremos hacia el centro de la madera, encontrándose mayor cantidad de cavidades y lúmenes libres de agua. La menor

absorción fue de 116.3 l/m³ en un contenido de humedad de 90/80 %, y la máxima absorción fue de 441.2 l/m³ en un contenido de humedad de 30/20%.

De acuerdo a lo concluido por Juacida (1991), las maderas que se desean preservar mediante métodos de vacío presión requieren de un contenido de humedad cercano al punto de saturación de la fibra, es decir, entre 30 y 35%.

4.1.3 Penetración de Impregnante relacionada con el Contenido de Humedad de los rolletes

En la figura 14 se puede apreciar la relación que existe entre el contenido de humedad y la penetración de sales CCA en la madera de *Pinus radiata*.

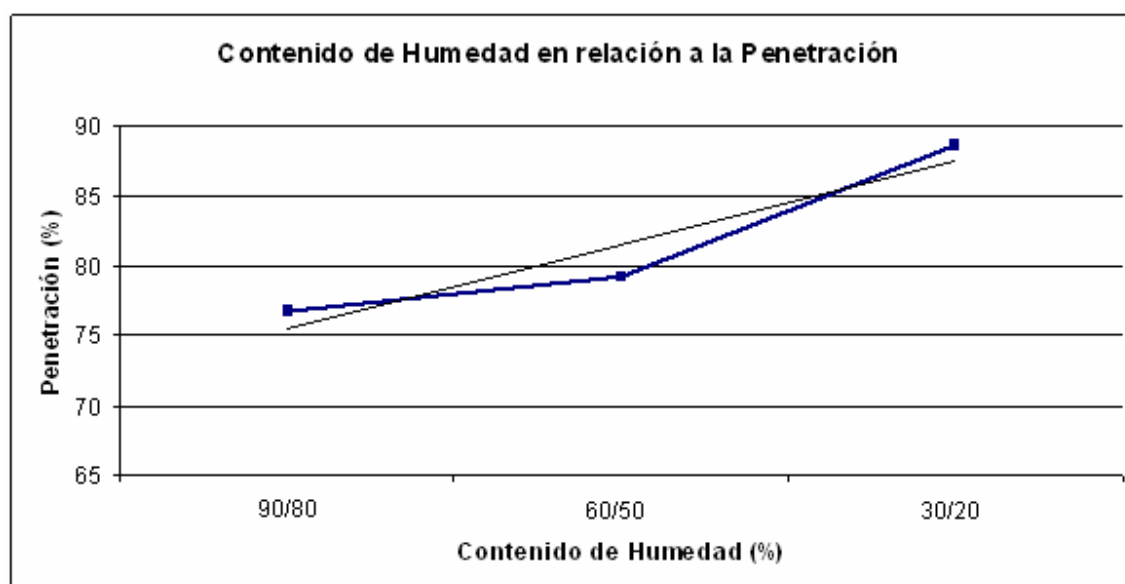


Figura 14. Análisis de contenido de humedad en relación a la penetración.

De acuerdo al análisis estadístico de varianzas no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0.7788) que se obtuvo es superior a 0.05. Es decir, no tiene efecto estadísticamente significativo en la penetración de rolletes para un nivel de confianza del 95%.

En este gráfico se puede ver la relación directa que existe entre el contenido de humedad de los rolletes y la penetración. Se puede apreciar que entre el contenido de humedad 90/80% y 60/50% hay diferencia en la penetración de 2.5%, entre en contenido de humedad 60/50/ y 30/20% se llegó a una diferencia en la penetración de 10.43%, pero la mayor diferencia se encontró entre los contenido de humedad 90/80% y 30/20 el cual arroja una variación en la penetración de 11.93%. Que al momento de trabajar con valores más altos en sales o litros de impregnante se logró una variación aún mayor.

En el caso de los rollizos que presentan mayores diámetros con un contenido de humedad del 30-20% se logró un 93% de penetración, entre un 60-50% contenido de humedad se logró un 80.3% de penetración, y las que tiene un contenido de humedad del 90-80% lograron un 55% de penetración. Para alcanzar una penetración ideal u homogénea en los rolletes, se debe alcanzar el contenido de humedad según lo indicado en bibliografía, un contenido de humedad del 30% o menor es lo ideal para alcanzar una penetrabilidad completa.

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 muy similar frente al movimiento de líquido. 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.

Las mayores penetrabilidades se obtuvieron en el contenido de humedad del 30-20%, donde la que presentaba menor penetrabilidad dentro de 8 muestras alcanzó un 73%, y la que presenta mayor penetrabilidad fue de 95%.

La máxima penetrabilidad encontrada fue de 96% en un contenido de humedad del 60-50%, pero esto no quiere decir que el rollete se encuentra completamente impregnado, entregando una retención de 4.98 kg/m³ de óxido.

La mínima penetración fue de un 52%, en el contenido de humedad 90-80%

4.1.4 Retención de Impregnante relacionada con el Contenido de Humedad de los rolletes

A continuación en la siguiente figura 15 se va a medir, la relación que existe estadísticamente entre el contenido de humedad y la retención de sales CCA y la cantidad de impregnante que va a retener cada rollete.

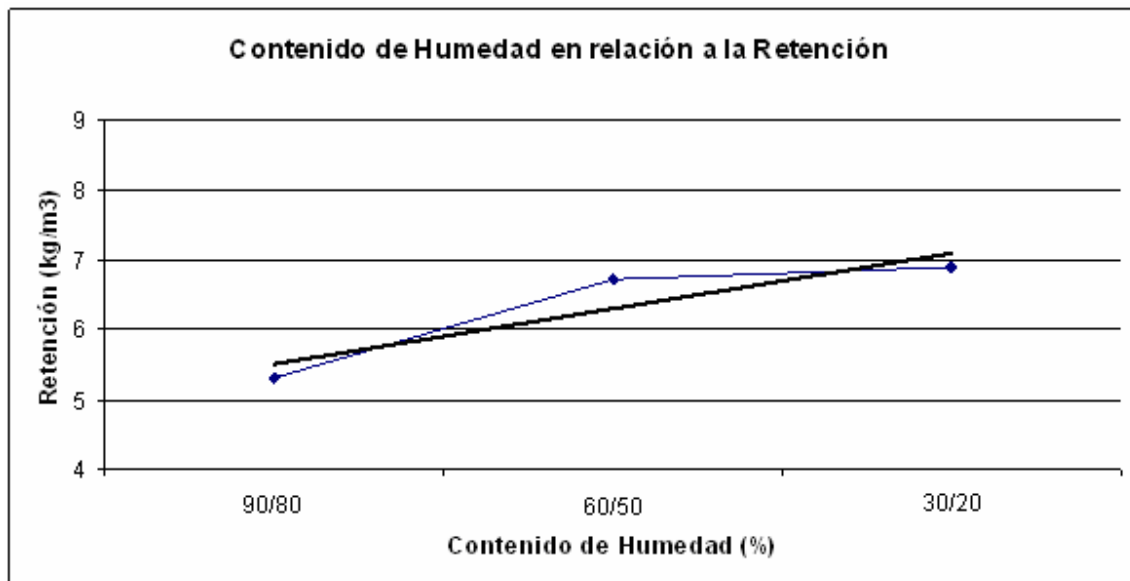


Figura 15. Análisis de contenido de humedad en relación a la retención.

De acuerdo al análisis estadístico de medias no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0.08887) no es inferior a 0.05, ninguno de los factores tiene efecto significativo en la retención para un nivel de confianza del 95%.

En este gráfico se puede apreciar la relación existente entre el contenido de humedad de los rolletes y la retención. Se puede ver que entre el contenido de humedad 90/80% y 60/50% hay una pequeña diferencia en la retención de 1.4 kg/m³, entre en contenido de humedad 60/50% y 30/20% se llegó a una diferencia pequeña en la retención de 0.18 kg/m³, pero la mayor diferencia se encontró entre los contenido de humedad 90/80% y 30/20% la cual arroja una variación en la penetración de 1.58 kg/m³.

En este punto el contenido de humedad de 90/80% el mayor diámetro alcanzó una retención de 7 Kg de sal/m³, en el de contenido de humedad 60/50% el diámetro mayor alcanzó una retención de 6.1 Kg de sal/m³. En este caso el diámetro juega un papel importante en la retención obtenida según los diferentes diámetros, ya que existe una diferencia en los datos de acuerdo a la retención obtenida, siendo que la Norma Chilena pide que los rollizos deben alcanzar 8.57 Kg de sal/m³.

En los rolletes que tienen mayor contenido de humedad se puede ver que la retención promedio fue de 5.31 Kg de sal/m³, donde las mayores variaciones fueron de 2.34 a 6.99 Kg de sal/m³. Esto indica que el contenido de humedad tiene gran influencia en la retención.

La máxima retención obtenida fue 8.87 Kg de sal/m³ y se encontró en el contenido de humedad de 30/20%; la mínima retención se encontró en el contenido de humedad de 2.34 Kg de sal/m³.

4.1.5 Absorción de Impregnante relacionada con el Diámetro de los rolletes

En la figura 16 se muestra la relación que existe entre los diferentes diámetros y la absorción que se obtiene.

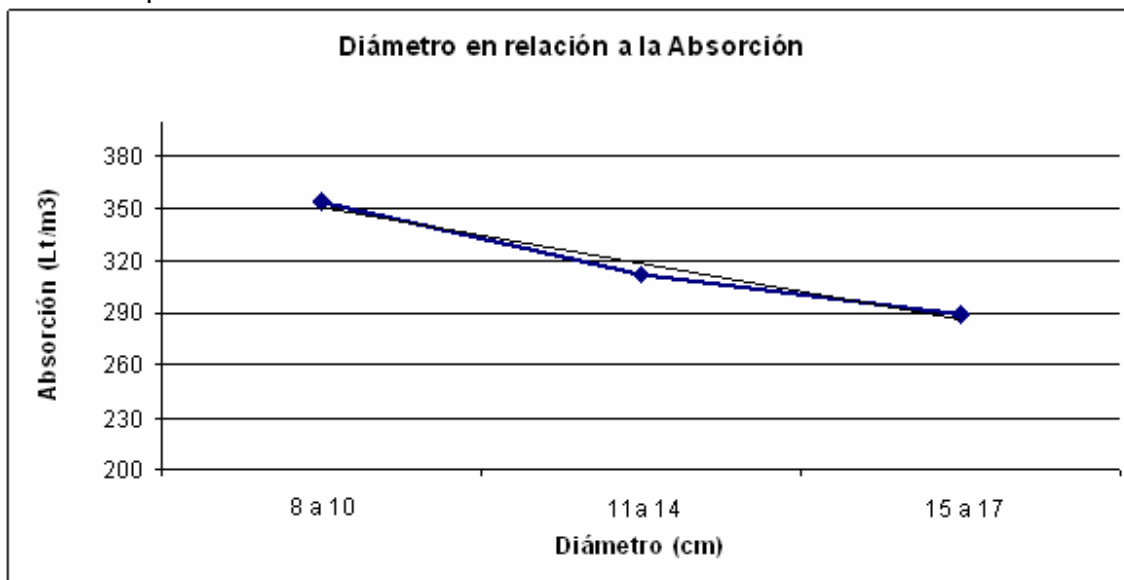


Figura 16. Análisis de diámetro en relación a la absorción.

De acuerdo al análisis estadístico de varianzas se encontró que no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0,4917) que se obtuvo es superior a 0.05, ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en la absorción de rolletes para un nivel de confianza del 95%.

En este gráfico se puede ver la relación existente entre el diámetro y la absorción de los diferentes rolletes. Se puede apreciar que entre los diámetros (8 a 10) y (11 a 14) hay una diferencia en la absorción de 41.6 l/m³, entre los diámetros (11 a 14) y (15 a 17) se llegó a una diferencia en la absorción de 22.9 l/m³, entre los diámetros (8 a 10) y (15 a 17) encontramos la mayor diferencia de 64.5 l/m³. Esto quiere decir que la absorción esta sujeta bajo los 3 tipos de contenidos de humedad trabajados, mientras menor sea la humedad mayor será la absorción.

En este gráfico podemos ver que la mayor absorción se logró en los de diámetros menores y así sucesivamente hasta que encontramos los de mayores diámetros los cuales por volumen alcanzan una absorción menor.

El mayor diámetro alcanzó una absorción de 411,94 l/m³ y el menor diámetro alcanzo una absorción de 347,57 l/m³. Encontrándose el de mayor diámetro en un contenido de 60/50% y el de menor diámetro en un contenido de humedad de 90/80.

4.1.6 Penetración de Impregnante relacionada con el Diámetro de los rolletes

En la figura se ve la relación que existe entre la penetración y los diferentes diámetros utilizados en la impregnación.

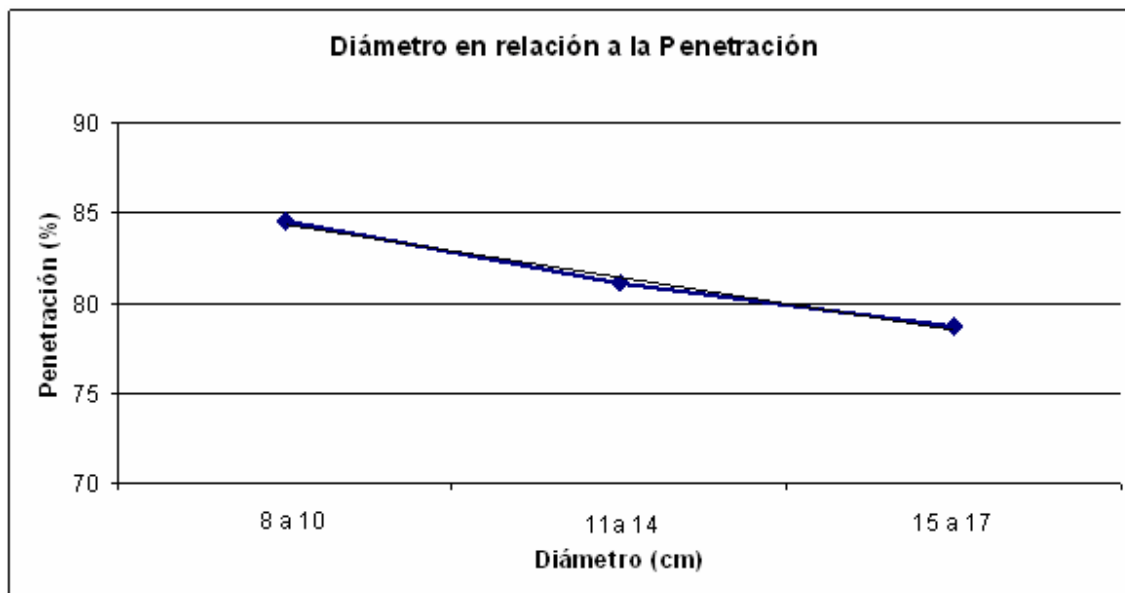


Figura 17. Análisis de diámetro en relación a la penetración.

De acuerdo al análisis estadístico de varianzas se encontró que no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0,8096) no es inferior a 0.05 ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en la penetración para un nivel de confianza del 95%.

En este gráfico se puede distinguir la relación existente entre el diámetro y la penetración de los diferentes rolletes. Se puede apreciar que entre los diámetros (8 a 10) y (11 a 14) hay una diferencia en la penetración de 4.3%, entre los diámetros (11 a 14) y (15 a 17) se llegó a una diferencia de 2.4%, entre los diámetros (15 a 17) y (8 a 10) encontramos la mayor diferencia de 5.8

La máxima penetración es de 96% y fue lograda en los diámetros de 11 y 15 cm, encontrándose con diferente retención pero en el mismo rango de humedad.

La menor penetración es de 52%, obteniendo una variación de sus diámetros de 14 y 17 cm, encontrándose con el mismo contenido de humedad de 60/50% esto indica la baja penetrabilidad en la madera como también la cantidad de agua que contiene en sus lúmenes y cavidades.

4.1.7 Retención de Impregnante relacionada con el Diámetro de los rolletes

En la figura se ve la relación que existe entre la retención y el diámetro de los diferentes rolletes impregnados.

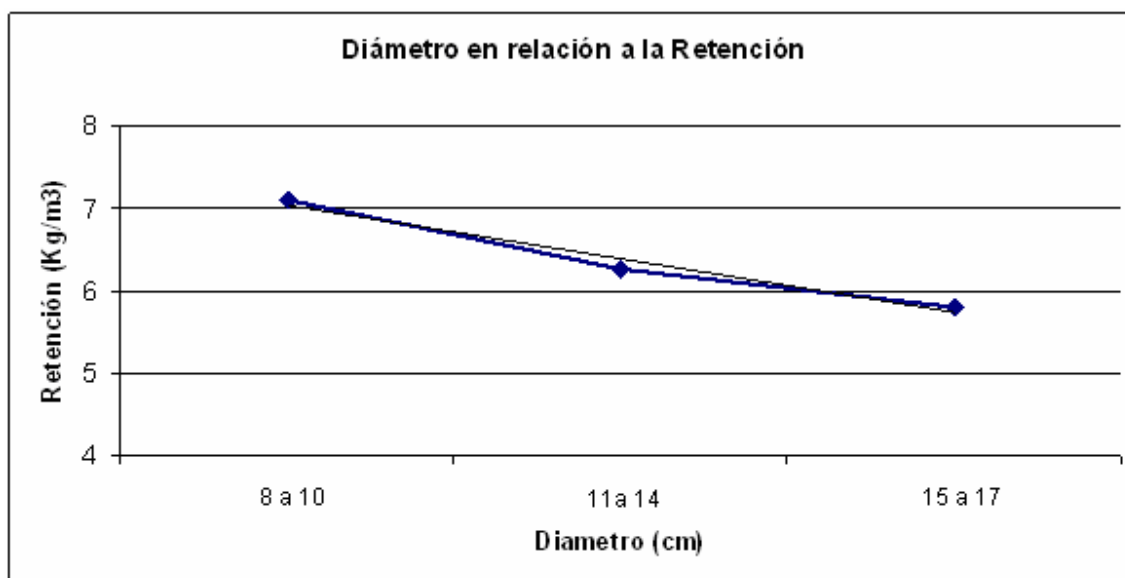


Figura 18. Análisis de diámetro en relación a la retención.

De acuerdo al análisis estadístico de varianzas se encontró que no existen diferencias significativas, dado que el P-valor (0,4921) no es inferior a 0.05 ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en la retención para un nivel de confianza del 95%.

En este gráfico se puede distinguir la relación existente entre el diámetro y la retención de los diferentes rolletes. Se puede apreciar que entre los diámetros (8 a 10) y (11 a 14) hay una diferencia en la retención de 0.8 Kg de sal/m³, entre los diámetros (11 a 14) y (15 a 17) se llegó a una diferencia más pequeña en la retención de 0.5 Kg de sal/m³, entre los diámetros (8 a 10) y (15 a 17) encontramos las mayores diferencia en la retención de 1.3 Kg de sal/m³. En este caso la retención va a depender de la humedad que las trozas hayan alcanzado.

En los diferentes grupos podemos ver que los diámetros están divididos en 3 grupos de menor a mayor diámetro, gráficamente se puede ver que a medidas que va aumentando los diámetros la retención es menor.

La máxima retención de acuerdo al diámetro mayor fue de 6.42 Kg de sal/m³, siendo una troza de 17 cm de diámetro. Según bibliografía para obtener una retención optima según lo indicado en la Norma Chilena los rolletes deben alcanzar contenidos de humedad inferior a 30%. En el caso de la pieza de menor diámetro alcanzo una

retención de 8.28 Kg de sal/m³, siendo casi lo óptimo y alcanzando una penetrabilidad deseada.

5. CONCLUSIÓN

En la impregnación de rolletes de *Pinus radiata*, se pudo observar que las piezas presentan mejores respuesta en los contenidos de humedad de 60/50% y 30/20% con respecto a la retención señalada por la norma, la cual debe ser de 6 Kg/m³.

En el caso de la absorción los mejores resultados se obtuvieron en el contenido de humedad de 30/20%, alcanzando la absorción máxima de unos de los rolletes en este grupo, siendo 441.2 l/m³. Esto se debe a que hay menor cantidad de agua en la madera, de acuerdo a la medición de pesada.

La respuesta de la penetración obtenida en los diferentes rolletes se relaciona con la humedad, es por esta razón que al igual que la retención los mejores resultados de penetración fueron logrados en el contenido de humedad de 30/20%, con un promedio de 88.63%.

Con respecto a la absorción relacionada al diámetro, se lograron mejores resultados en los diámetros de 8 a 10 cm llegando a un promedio de 353,4 l/m³. Esto quiere decir que los rolletes de menor diámetro alcanzan mayor absorción con contenidos de humedad más bajo.

La mayor penetración es de 96% y fue lograda en los diámetros de 11 y 15 cm, encontrándose con diferente retención y absorción pero dentro del mismo rango de humedad.

En los diferentes grupos se aprecia que a medidas que va aumentando los diámetros la retención va disminuyendo.

La mayor retención alcanzada fue de 8.87 Kg/m³ y se encontró en el rango de diámetros de 11 a 14 cm, esto se debe a que los rolletes fueron separados en 3 grupos diferentes de contenidos de humedad.

Se puede concluir que el diámetro es un parámetro importante para medir absorción, retención y penetración. Pero siempre que se asocie con un contenido de humedad bajo para obtener respuestas más confiables.

6. BIBLIOGRAFÍA

DONOSO J., MANRIQUEA 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.

HOHEISEL, H. 1988. Manual del Grupo Andino para la Preservación de Madera. Junta del Acuerdo de Cartagena, Carvajal S.A., Lima.

HUNT, G; Garrat, G. 1953. Wood preservation. The American Forestry. New York, 433p.

JUACIDA, R. 1991. Algunos factores que influyen en la permeabilidad de las maderas. Publicación Docente N° 3. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 18 p.

JUACIDA, R. 1981. El proceso de impregnación BOUCHERIE. Publicación Docente N° 6. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 11 p.

JUACIDA, R. 1992. Secado natural al aire libre. Publicación Docente N° 35. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia, 32 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.

FUNDACIÓN CHILE. 1989. manual de operación para plantas de impregnación.

NCh176/1 Of 84, 1984. INN (Instituto Nacional de Normalización, Chile). Determinación de la humedad. Santiago, Chile.

NCh176/2 Of 86, 1988. INN (Instituto Nacional de Normalización). Determinación de la densidad. Santiago, Chile.

NCh631 Of 2003. INN (Instituto Nacional de Normalización). Madera preservada-extracción de muestras. Santiago, Chile.

OJEDA, H. 2000. Variación de la Impregnabilidad en Altura y Diámetro en Castaño. Chile, Valdivia.

SALAS, V. 2005. Impregnabilidad de la madera eucalyptus nitens. Chile, Valdivia.

VIGNOTE, S.; Jiménez, F. 2000. Tecnología de la madera. 2da ed. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 337 p.

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract

ABSTRACT

The general objective of this study was to evaluate the retention, penetration and absorption of the impregnation with water-soluble salts of copper, chromium, arsenic (CCA) of Rollet thinning of *Pinus radiata*. The variables considered were moisture, content and diameter of the 28 piece sample used.

The wood used comes from properties of the Universidad Austral de Chile, in a place next to Valdivia and were selected according to the diameters between 8 to 17 cm required to work.

The Rollet peeling was losing moisture until reach the levels set in the range of moisture content set (80-90%, 50-60%, 20-30%).

When the rollet reached the humidity defined above were impregnated by the vacuum pressure or Bethell, the impregnation process was made with 8 loads with woods of different diameter.

Basic density was measured for the entire sample. We worked with a CCA impregnating concentration of 2%. We determined absorption, retention and penetration.

Referring to the results obtained we may conclude that Rollets must achieve moisture content between 30/20%, to achieve optimal retention and are in the ranges requires for the Chilean standar, which indicates that the samples must achieve as 6 kg/m³ minimum for this test.

Keywords: Absorption, penetration, retention, diameters, Moisture content, Pino radiate.

ANEXO 2
Valores de impregnación y análisis estadístico

1. Contenido de humedad, diámetro y densidad básica de las rodela.

Cuadro 1a. Determinación del largo y diámetro de los rolletes.

N°	Diámetros Rolletes (cm)		Largo (cm)
	D. menor	D. mayor	Trozaz
1	15	16	238
2	13	13	238
3	15	15	238
4	13	14	247,5
5	11	12	238
6	15	16	243
7	14	15	248,2
8	14	17	238,5
9	10	12	238,5
10	10	12	241
11	16	18	240
12	13	14	245
13	15	16	248,5
14	14	17	236
15	11	14	238
16	10	12	244
17	12	14	243,5
18	14	16	238,3
19	10	15	236
20	12	13	243
21	15	17	240
22	15	17	240
23	13	18	239,8
24	11	12	236
25	15	17	243,5
26	7	12	221
27	13	14	246,6
28	14	15	238

Cuadro 1b. Determinación de volumen y densidad básica de las rodela.

Volumen Desplazado (cm ³)		Densidad (gr/cm ³)		Promedio
A	B	A	B	
253	610	0,411	0,472	0,442
265	288	0,408	0,441	0,424
357	378	0,473	0,463	0,468
325	373	0,403	0,426	0,415
204	182	0,466	0,418	0,442
334	397	0,467	0,453	0,460
316	297	0,443	0,455	0,449
211	373	0,370	0,389	0,379
152	275	0,355	0,385	0,370
163	118	0,380	0,364	0,372
575	362	0,459	0,448	0,453
386	196	0,370	0,403	0,387
263	197	0,376	0,386	0,381
504	208	0,345	0,356	0,351
208	160	0,375	0,400	0,388
137	131	0,372	0,374	0,373
315	244	0,425	0,385	0,405
342	308	0,360	0,386	0,373
183	293	0,388	0,396	0,392
276	171	0,373	0,345	0,359
257	247	0,405	0,377	0,391
395	254	0,387	0,366	0,377
361	134	0,374	0,366	0,370
166	115	0,380	0,374	0,377
253	239	0,510	0,481	0,496
69	144	0,304	0,347	0,326
170	167	0,371	0,383	0,377
205	232	0,380	0,435	0,408

Cuadro 1c. Peso seco y húmedo de cada uno de los lados de las rodela.

Peso Rodelas (gr)			
Ph A	Ps A	Ph B	Ps B
214	104	636	288
240	108	282	127
370	169	391	175
293	131	353	159
185	95	152	76
271	156	312	180
270	140	240	135
177	78	336	145
149	54	280	106
127	62	90	43
596	264	371	162
311	143	170	79
196	99	165	76
515	174	223	74
202	78	148	64
100	51	91	49
317	134	210	94
289	123	246	119
178	71	277	116
249	103	139	59
216	104	219	93
233	153	233	93
341	135	144	49
133	63	93	43
329	129	192	115
57	21	133	50
122	63	133	64
211	78	231	101

Cuadro 1d. Contenido de humedad de las rodelas, peso seco y húmedo de las rolletes.

CH % Rodelas		Promedio	Max. Ch%	Peso Trozas (gr)	
CH % A	CH% B			Ps	Ph
105,77	120,83	113,30	161,09	19831,6	42301,1
122,22	122,05	122,13	170,35	13402,5	29771,6
118,93	123,43	121,18	148,24	19690,6	43552,0
123,66	122,01	122,84	175,79	14690,6	32736,4
94,74	100,00	97,37	161,07	10917,6	21547,8
73,72	73,33	73,53	151,92	21102,7	36618,5
92,86	77,78	85,32	157,46	18393,8	34087,0
126,92	131,72	129,32	198,35	17065,3	39134,8
175,93	164,15	170,04	204,65	8394,3	22667,9
104,84	109,30	107,07	203,18	8528,8	17660,6
125,76	129,01	127,38	155,23	24694,8	56152,3
117,48	115,19	116,34	193,20	13563,4	29342,6
97,98	117,11	107,54	197,03	17870,1	37088,0
195,98	201,35	198,66	219,94	15608,4	46616,6
158,97	131,25	145,11	192,71	11317,7	27741,1
96,08	85,71	90,90	202,63	8652,7	16517,8
136,57	123,40	129,99	181,36	13100,1	30128,4
134,96	106,72	120,84	202,73	15707,7	34689,1
150,70	138,79	144,75	189,78	11351,2	27782,0
141,75	135,59	138,67	213,11	10708,8	25558,8
107,69	135,48	121,59	190,66	18848,0	41765,0
52,29	150,54	101,41	200,07	18179,6	36616,1
152,59	193,88	173,24	205,04	16733,6	45722,0
111,11	116,28	113,70	200,09	9234,5	19733,6
155,04	66,96	111,00	136,45	24260,3	51188,6
171,43	166,00	168,71	241,59	5103,4	13713,6
93,65	107,81	100,73	199,96	13304,2	26705,8
170,51	128,71	149,61	179,79	16031,5	40016,7

2. Ciclos de impregnación.

Cuadro 2a. Ciclos de impregnación, números de rolletes y contenido de humedad.

Nº Impregnación	Nº Trozas	Rango de CH%
1	27	90/80
	20	90/80
	18	90/80
	16	90/80
	12	90/80
2	4	90/80
	10	60/50
	17	90/80
	19	90/80
	5	60/50
3	7	60/50
	11	60/50
	13	60/50
4	1	30/20
	28	90/80
	24	60/50
5	1	60/50
	6	60/50
	14	90/80
6	3	30/20
	9	30/20
	15	30/20
	21	30/20
7	8	30/20
	23	60/50
	26	30/20
8	22	60/50
	25	30/20

Cuadro 2b. Ciclos completos de impregnación.

Impregnación N°1

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	6 min
Presión constante	23 min
Baja de presión	12 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,1655 m3
Humedad madera	90/80
Diámetro trozas	18 a 15
Número de trozas	5
Absorción	70lt

Impregnación N°2

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	5 min
Presión constante	7 min
Baja de presión	4 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,1443 m3
Humedad madera	90/80-60/50
Diámetro trozas	16 a 13
Número de trozas	5
Absorción	61 lt

Impregnación N°3

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	7 min
Presión constante	20 min
Baja de presión	4 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,142 m3
Humedad madera	60/50
Diámetro trozas	18 a 15
Número de trozas	3
Absorción	61 lt

Impregnación N°4

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	3 min
Presión constante	7 min
Baja de presión	5 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,095 m3
Humedad madera	90/80-60/50-30/20
Diámetro trozas	18 a 11
Número de trozas	3
Absorción	41 lt

Impregnación N°5

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	6 min
Presión constante	34 min
Baja de presión	2 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,135 m3
Humedad madera	90/80-60/50
Diámetro trozas	14 a 13
Número de trozas	3
Absorción	60 lt

Impregnación N°6

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	3 min
Presión constante	3 min
Baja de presión	3 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,142 m3
Humedad madera	30/20
Diámetro trozas	17 a 12
Número de trozas	4
Absorción	61 lt

Impregnación N°7

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	10 min
Presión constante	2 min
Baja de presión	3 min
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,106 m3
Humedad madera	60/50-30/20
Diámetro trozas	17 a 14
Número de trozas	3
Absorción	45 lt

Impregnación N°8

Vacío inicial	30 min
Elevación presión	5 min
Presión constante	3 min
Baja de presión	2
Vacío final	15 min
Volumen madera	0,097 m3
Humedad madera	60/50-30/20
Diámetro trozas	17 a 15
Número de trozas	2
Absorción	48 lt

3. Retención.

Cuadro 3a. Determinación de retención por pesada.

N° Trozas	P. inicial (kg)	P. final (kg)	m3	V. total (m3)	Retención (kg/m3)
27	22,2	31,4	0,035	0,165487	5,22
20	19,5	26,4	0,030		4,66
18	29,6	36,3	0,042		3,20
16	15,1	21,5	0,023		5,57
12	24,9	29,0	0,035		2,34
4	27,8	39,0	0,035	0,144333	6,37
10	12,4	21,0	0,023		7,56
17	24,4	34,5	0,032		6,28
19	20,7	32,3	0,029		8,02
5	17,7	23,8	0,025		4,96
7	28,3	38,3	0,041	0,14235	4,89
11	34,0	55,5	0,054		7,93
13	28,6	47,5	0,047		8,10
1	18,5	29,5	0,032	0,095404	7,03
28	25,1	38,8	0,039		6,99
24	14,5	22,0	0,025		6,15
1	31,5	50,0	0,045	0,135292	8,28
6	31,5	50,5	0,046		8,33
14	29,5	40,0	0,045		4,74
3	27,0	44,5	0,042	0,142185	8,36
9	12,0	22,0	0,023		8,87
15	14,5	23,5	0,029		6,19
21	26,5	46,0	0,048		8,12
8	24,5	36,0	0,045	0,105916	5,14
23	25,5	36,5	0,045		4,89
26	8,0	13,5	0,016		7,06
22	28,0	42,5	0,048	0,097214	6,04
25	33,5	44,0	0,049		4,31

4. Penetración.

Cuadro 4a. Determinación de penetración.

Nº	Largo (cm)	Diametro (cm)	Largo l.(cm)	V. Total (cm3)	V. Manchada (cm3)	Penetración %
1	18,4	0,5	13	14,4	10,2	71
2	12	0,5	8,7	9,4	6,8	73
3	14,7	0,5	13,8	11,5	10,8	94
4	13,7	0,5	12,2	10,8	9,6	89
5	11,1	0,5	7,3	8,7	5,7	66
6	15,5	0,5	14,9	12,2	11,7	96
7	14	0,5	8,4	11,0	6,6	60
8	13,1	0,5	10,5	10,3	8,2	80
9	11,5	0,5	10,4	9,0	8,2	90
10	11,2	0,5	7,3	8,8	5,7	65
11	16,1	0,5	9,9	12,6	7,8	61
12	13,6	0,5	8,8	10,7	6,9	65
13	14,8	0,5	10,2	11,6	8,0	69
14	13,3	0,5	12,1	10,4	9,5	91
15	13,4	0,5	12,7	10,5	10,0	95
16	11,3	0,5	9,9	8,9	7,8	88
17	14,1	0,5	12,4	11,1	9,7	88
18	15,9	0,5	8,3	12,5	6,5	52
19	12,9	0,5	12	10,1	9,4	93
20	11,6	0,5	10,6	9,1	8,3	91
21	15,2	0,5	13,8	11,9	10,8	91
22	16,6	0,5	15,1	13,0	11,9	91
23	14	0,5	13,5	11,0	10,6	96
24	16,3	0,5	8,8	12,8	6,9	54
25	15,2	0,5	14,6	11,9	11,5	96
26	10,6	0,5	9,9	8,3	7,8	93
27	13,3	0,5	7,7	10,4	6,0	58
28	13,7	0,5	7,1	10,8	5,6	52

5. Absorción.

Cuadro 5a. Determinación de penetración.

N° Trozas	P. inicial (kg)	P. final (kg)	m3	Absorción (l/m3)
27	22,2	31,4	0,035	351,10
20	19,5	26,4	0,030	398,80
18	29,6	36,3	0,042	459,16
16	15,1	21,5	0,023	308,15
12	24,9	29,0	0,035	394,68
4	27,8	39,0	0,035	347,57
10	12,4	21,0	0,023	441,21
17	24,4	34,5	0,032	277,30
19	20,7	32,3	0,029	159,10
5	17,7	23,8	0,025	493,30
7	28,3	38,3	0,041	414,38
11	34,0	55,5	0,054	375,93
13	28,6	47,5	0,047	116,34
2	18,5	29,5	0,032	349,79
28	25,1	38,8	0,039	259,50
24	14,5	22,0	0,025	243,10
1	31,5	50,0	0,045	411,94
6	31,5	50,5	0,046	246,75
14	29,5	40,0	0,045	402,86
3	27,0	44,5	0,042	416,09
9	12,0	22,0	0,023	255,54
15	14,5	23,5	0,029	516,49
21	26,5	46,0	0,048	232,05
8	24,5	36,0	0,045	243,50
23	25,5	36,5	0,045	300,49
26	8,0	13,5	0,016	214,47
22	28,0	42,5	0,048	404,10
25	33,5	44,0	0,049	305,96

Concentración: 2.01 gr/cm²

6. Análisis de varianza con respecto a la absorción y el diámetro.

Cuadro 6a. Tabla ANOVA en relación con la absorción y el diámetro.

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	10592,1	2	5296,03	0,73	0,4917
Intra grupos	181254	25	7250,18		
Total corregido	19,1847,0	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05, no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 6b. Contraste múltiple de rango para absorción y diámetro, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
3	7	288,9	32,1829	X
2	17	311,765	20,6514	X
1	4	353,4	42,574	X

Contraste	Diferencias	(+/-) Límites
(1-2)	41,6353	97,4542
(1-3)	64,5	109,916
(2-3)	22,8647	78,7549

Con respecto al grupo homogéneo esta muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de absorción y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.

7. Análisis de varianza y media con respecto a la absorción y Ch%.

Cuadro 7a. Tabla ANOVA en relación con la absorción y Ch%.

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	33841,4	2	16920,7	2,68	0,0884
Intra grupos	158005	25	6320,2		
Total corregido	191447	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05.no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 7b. Contraste múltiple de rango para absorción y Ch%, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
3	10	265,58	25,14	X
2	10	333,97	25,14	X
1	8	342,55	28,1074	X

Contraste	Diferencias	(+/-) Límites
(1-2)	8,58	77,6654
(1-3)	76,97	77,6654
(2-3)	68,39	73,2237

Con respecto al grupo homogéneo este muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de absorción y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.

8. Análisis de varianza y media con respecto a la retención y diámetro.

Cuadro 8a. Tabla ANOVA en relación con la retención y el diámetro.

Fuente	Suma decuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	4,30185	2	2,15092	0,73	0,4921
Intra grupos	73,7153	25	2,94861		
Total corregido	78,0171	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05, no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 8b. Contraste múltiple de rango para retención y diámetro, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
3	7	5,8	0,649023	X
2	17	6,27059	0,416471	X
1	4	7,1	0,858576	X

Contraste	Diferencias	(+/-) Limites
(1-2)	0,829412	1,96533
(1-3)	1,3	2,21655
(2-3)	0,470588	1,58822

Con respecto al grupo homogéneo esta muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de retención y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.

9. Análisis de varianza y media con respecto a la retención y Ch%.

Cuadro 8a. Tabla ANOVA en relación con la retención y el Ch%.

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	13,6558	2	6,82792	2,67	0,0887
Intra grupos	63,8521	25	2,55408		
Total corregido	77,5079	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05. no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 9b. Contraste múltiple de rango para retención y Ch%, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
3	10	5,339	0,505379	X
2	10	6,713	0,505379	X
1	8	6,885	0,565031	X

Contraste	Diferencias	(+/-) Límites
(1-2)	0,172	1,56128
(1-3)	1,546	1,56128
(2-3)	1,374	1,47199

Con respecto al grupo homogéneo esta muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de retención y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.

10. Análisis de varianza y media con respecto a la penetración y diámetro.

Cuadro 10a. Tabla ANOVA en relación con la penetración y diámetro.

Fuente	Suma decuadrados	Grado de libetad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	85,8067	2	42,9034	0,21	0,8096
Intra grupos	5036,19	25	201,448		
Total corregido	5122	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05.no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 10b. Contraste múltiple de rango para penetración y diámetro, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
3	7	78,7143	5,36454	X
2	17	81,1176	3,44236	X
1	4	84,5	7,09661	X

Contraste	Diferencias	(+/-) Limites
(1-2)	3,38235	16,2445
(1-3)	5,78571	18,3219
(2-3)	2,40336	13,1276

Con respecto al grupo homogéneo este muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de penetración y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.

11. Análisis de varianza y media con respecto a la penetración y Ch%.

Cuadro 11a. Tabla ANOVA en relación con la penetración y Ch%.

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F-ratio	P-valor
Entre grupos	1008,08	4	252,021	1,41	0,2625
Intra grupos	4113,92	23	178,866		
Total corregido	5122	27			

Dado que el P-valor que se obtuvo es superior a 0.05.no existe diferencia estadística significativa entre las muestras. Con un 5% de riesgo.

Cuadro 11b. Contraste múltiple de rango para penetración y Ch%, según método de Tukey con 95% de confianza.

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
5	3	67,6667	7,72153	X
3	6	76,5	5,45994	X
2	6	81,1667	5,45994	X
1	1	82	13,3741	X
4	12	86,4167	3,86076	X

Diámetro	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupo homogéneo
5	3	67,6667	7,72153	X
3	6	76,5	5,45994	X
2	6	81,1667	5,45994	X
1	1	82	13,3741	X
4	12	86,4167	3,86076	X

Con respecto al grupo homogéneo este muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas, además se indica las diferencias que existe entre cada nivel de penetración y si existe diferencias significativas, esta será indicada por una X.