



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Impregnabilidad en madera de
*Acacia melanoxylon***

Profesor Guía: Sr. Roberto Juacida

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

ROCÍO MILAGRO RIQUELME RIVERA

**Valdivia
2009**

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		Nota
Patrocinante:	Sr. Roberto Juacida Percaz.	<u>6,4</u>
Informante:	Sr. Alfredo Aguilera León.	<u>5,2</u>
Informante:	Sr. Aldo Rolleri Saavedra.	<u>5,0</u>

El Patrocinante acredita que el presente trabajo de titulación cumple con los requisitos de los contenidos 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.

AGRADECIMIENTOS

A la persona que pudo hacer de mí lo que ella siempre soñó, que me supo criar, guiar, aconsejar, entender y que confió en mí y que ante todo podía entenderme en cada etapa, a ti mamá porque siempre estabas ahí dando una palabra para sacarme adelante sin importar ni criticar mis actos.

A mis hermanas, hermano, abuelita, papá y cuñados quienes supieron entenderme y siempre estaban atentos a mis quehaceres y logros, sin importar nada, sólo que yo estuviese bien y compartiendo con ustedes, no me dejaron nunca sola y cuando más los necesité siempre estuvieron cerca de mí aunque eran miles de kilómetros los que nos separaban.

A mis queridas amigas y amigos, que no sólo fueron compañeros en la universidad para estudiar o para salir de fiestas, a ti Coyhaique, Paula, Rudy y Katy que hasta el día de hoy seguimos juntos como buenos amigos y confidentes y que ni el trabajo ni el tiempo nos han separado.

A ti mi vida, que llegaste en una etapa totalmente nueva, compleja y difícil de mi camino, que no sólo fuiste un colega quien me acogió, sino la persona que completó mi vida con amor y ternura y que juntos comenzamos una vida juntos de nuevas metas y expectativas, ya que somos el complemento ideal.

A mis profesores de carrera quienes tuvieron confianza en mí, que me apoyaron participando en la carrera, en la facultad y en la universidad, y que esa oportunidad que tuve no fue en vano, hoy hacen de mí una persona con personalidad, seguridad y conocimiento para desarrollar mi trabajo.

Gracias a todos ustedes, pero por sobre todo a la persona que hace todo esto posible, Dios, quién siempre me ha bendecido y a cruzado en mi vida situaciones y personas muy importantes y sinceras, esto es lo que yo llamo suerte.

*Gracias Familia, Mi Amor, Amigos, Profesores y
Docentes, Secretarias y compañeros.*

ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Características de la especie a utilizar.	3
2.1.1 <i>Antecedentes generales del Aromo.</i>	3
2.1.2 <i>Características macroscópicas</i>	4
2.1.3 <i>Utilización de la madera</i>	4
2.2 Movimiento del agua en la madera.	5
2.3 Impregnabilidad en la madera	5
2.3.1 <i>Permeabilidad en la madera</i>	6
2.3.2 <i>Factores de la madera</i>	7
2.3.3 <i>Factores del proceso</i>	9
2.3.4 <i>Secado y permeabilidad</i>	10
2.3.5 <i>Pretratamiento e impregnabilidad</i>	11
3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	12
3.1 Material	12
3.1.1 <i>Dimensión probetas de madera</i>	13
3.1.2 <i>Sustancia impregnante</i>	14
3.1.3 <i>Sustancia selladora</i>	14
3.1.4 <i>Equipos de impregnación.</i>	14
3.2 Variables de ensayo	15
4 METODOLOGÍA	15
4.1 Tamaño de la muestra	15
4.2 Preparación de las muestras	16
4.2.1 <i>Sellador de caras.</i>	16
4.3 Proceso de impregnación	16
4.4 Control de variables de Impregnabilidad	17
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1 Análisis de la Absorción, Retención y Penetración sobre la madera de albura y duramen	18
5.2 Análisis del comportamiento de la absorción, retención y penetración respecto a la dirección de impregnación	22
5.2.1 <i>Análisis general de los datos a través de los promedios</i>	22
5.2.2 <i>Análisis para madera de albura y duramen.</i>	26
5.3 Análisis del grado de impregnación en relación a la altura de la madera en el fuste	29
6 CONCLUSIONES	35
7 BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	39
Abstract	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1	Obtención de trozas para la extracción de probetas	12
Figura Nº 2	Esquema de obtención probetas	13
Figura Nº 3	Diagrama de proceso de impregnación	16
Figura Nº 4	Absorción respecto al tipo de madera	18
Figura Nº 5	Absorción en especies arbóreas y bambusáceas	19
Figura Nº 6	Retención respecto al tipo de madera	19
Figura Nº 7	Relación absorción-retención en ambas maderas	20
Figura Nº 8	Penetración del impregnante en madera de albura y duramen	20
Figura Nº 9	Probetas de albura y duramen, aplicadas como azulol	21
Figura Nº 10	Relación entre absorción y penetración	22
Figura Nº 11	Absorción respecto al sentido de impregnación	23
Figura Nº 12	Retención respecto al sentido de impregnación	24
Figura Nº 13	Relación entre absorción y retención en los tres sentidos de impregnación	24
Figura Nº 14	Penetración en cada sentido de impregnación	25
Figura Nº 15	Relación entre absorción y penetración en los tres sentidos de impregnación	25
Figura Nº 16	Efecto de la absorción en albura y duramen respecto al sentido de impregnación	27
Figura Nº 17	Efecto de la retención en albura y duramen respecto al sentido de impregnación	27
Figura Nº 18	Penetración en cada sentido de impregnación en madera de albura y duramen	28
Figura Nº 19	Absorción en ambas maderas según sentido de impregnación en cada altura	30
Figura Nº 20	Retención en ambas maderas según sentido de impregnación en cada altura	31
Figura Nº 21	Penetración en ambas maderas para cada sentido de impregnación en cada altura	32
Figura Nº 22	Relación entre penetración y absorción en altura 1	32
Figura Nº 23	Relación entre penetración y absorción en altura 2	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1	Diámetros promedios de las basas	13
Cuadro N° 2	Total tratamientos	15
Cuadro N° 3	Número de probetas	15
Cuadro N° 4	Promedios de las variables respecto a propiedades en análisis	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Clases de impregnabilidad según la norma EN 350-2	6
Tabla N° 2	Penetración en albura y duramen	21
Tabla N° 3	Promedios de variables de control de impregnabilidad	26
Tabla N° 4	Resumen de regresión para penetración y absorción	28
Tabla N° 5	Resumen de absorción en cada sentido de impregnación respecto a las alturas	29
Tabla N° 6	Resumen de Retención en cada sentido de impregnación respecto a las alturas	30
Tabla N° 7	Resumen de Penetración cada sentido de impregnación respecto a las alturas	31
Tabla N° 8	Resumen de correlación para penetración en altura 1	34
Tabla N° 9	Resumen de correlación para penetración en altura 2	34

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como objetivo determinar el grado de aptitud de impregnación de la madera de *Acacia melanoxylon*, traduciéndose esto en la capacidad de la madera en absorber, retener y penetrar el impregnante de CCA en sus fibras.

Las variables de control (absorción, retención y penetración) se determinan en los dos tipos de madera, es decir, madera de albura y duramen, en los tres sentidos de impregnación y en dos alturas diferentes del árbol.

Para este trabajo se utilizaron tres ejemplares de *Acacia melanoxylon* proveniente del fundo San Germán perteneciente a la Universidad Austral de Valdivia. De cada ejemplar se obtuvieron 2 trozas: una a la altura basal y la otra a 3,2 metros de altura, de cada troza se extrajeron 10 muestras de madera de albura y 10 muestras de madera de duramen de 50 cm. de largo. Estas muestras permanecieron en una sala climatizada para reducir su contenido de humedad hasta un 12%, con el fin asegurar una adecuada impregnación con sales CCA.

Las características de impregnación fueron definidas con preensayos, para determinar presión de vacío, presión de impregnación y tiempos de permanencia de presión y vacío, para esto se utilizó la NCh 630 que describe el proceso de célula llena.

Para medir la impregnabilidad en los tres sentidos de impregnación, se sellaron 5 de las 6 caras de la probeta, dejando libre la cara o sentido de impregnación que se desea analizar.

Para analizar las variables de control se utilizaron las normas chilenas vigentes y se empleó el software Statgraphics para realizar el análisis estadístico de estas variables.

Estos análisis arrojan como resultado que la absorción en madera de albura es superior 24 veces a la absorción en madera de duramen, en el sentido tangencial se logran los mejores resultados de absorción siendo en madera de albura de 434 l/m³ y en madera de duramen 148 l/m³ y en cuanto a la altura se evidencia mayor absorción en la altura 2 siendo la media de 259 l/m³, el modelo de correlación explica en un 100% la relación entre la absorción y retención.

La retención promedio en madera de albura fue de 8,6 Kg./m³ y en madera de duramen 2 Kg./m³. Los mejores resultados se obtuvieron en sentido tangencial en ambas maderas.

Mejores retenciones se obtiene en altura 2 siendo de 5,4 Kg./m³.

La madera de albura se clasifica como madera impregnable ya que la penetración es de un 96% y la de duramen como medianamente impregnable pues su penetración es de 36%.

Palabras claves: *Acacia melanoxylon*, impregnabilidad, índice de impregnabilidad, durabilidad.

1 INTRODUCCIÓN

En Chile existen alrededor de 2,1 millones de hectáreas plantadas de especies exóticas de las cuales el 75% corresponde Pino radiata, el 18% a especies del género Eucalipto y el 7% restante corresponden a otras especies. Dentro de este segmento se encuentra *Acacia melanoxylon* con 2.000 ha. (Portal CONAF)

Siebert y Loewe, 2002 mencionan que especies nativas como Roble, Raulí, Coigüe y otras especies introducidas como Pino y Eucalipto favorecen el buen desarrollo de *Acacia melanoxylon*.

Es por este motivo que resulta interesante trabajar con especies nuevas, que cumplan con cualidades diferentes y que estén enfocadas a otros usos y mercados, en este sentido existen acacias australianas con características de crecimiento, adaptación, aptitud pulpable, madereras y de recuperación de suelos muy promisorias, que las hacen interesantes para su utilización en Chile (INFOR, marzo 2001).

La madera de *Acacia melanoxylon* presenta características de buen color y hermoso vetado, de duramen resistente y flexible (cuando el árbol logra desarrollar un duramen oscuro) que la hacen apta para usos de elaboración de muebles finos, pero existe un porcentaje de madera aserrada que se destina a la construcción de viviendas que utiliza madera de albura y duramen, y en este caso se hace necesario proteger la madera para prolongar su vida útil.

Para aumentar la vida útil de la madera se emplean diversos preservantes y métodos de preservación, la utilización de cada uno de estos depende del uso y las condiciones en que prestará servicio la madera. En Chile el preservante más empleado es CCA (cobre actúa como fungicida, cromo como fijador y arsénico como insecticida) y el método para fijar estas sales es bajo un proceso de vacío-presión que se logra en un cilindro impregnador o autoclave y las condiciones de las variables presión y vacío depende del tipo de madera y de la protección que se desea lograr.

Estas sales deben cumplir con características de toxicidad para hongos e insectos, pero deben ser inocuos para el ser humano (Juacida, 1980)

Una de las características importante para lograr que el líquido impregnante ingrese en la madera es su permeabilidad y la condición en que se encuentren sus células, las cuales son las que permiten el paso de fluidos, es decir, que los vasos se encuentren sin sustancias depositadas y/o tilosis.

Acacia melanoxylon se desarrolla en suelos forestales podzólicos, rojos y amarillos, o aluviales (Kannegiesser, 1989), de mediana a alta fertilidad, profundos con buen drenaje y pH neutro a ácidos (Grosse et al, 1991). Otros autores destacan el desarrollo de aroma en suelos trumaos con estructuras granulares y textura franco limosa o transición, con niveles levemente ácidos (Siebert y Cerda, 1994).

Este estudio pretende mostrar que tan permeable puede resultar esta especie en cuanto a la impregnabilidad con sales hidrosoluble como el CCA aplicando un método vacío – presión, llamado célula llena, para ello se desea investigar la impregnabilidad direccional (radial, tangencial y longitudinal), como varía este factor (impregnación) en cuanto a la altura y al leño, es decir, madera de albura y duramen, midiendo su absorción, retención y penetración en estas variables.

Objetivo

Determinar la impregnabilidad de *Acacia melanoxylon* bajo un proceso de vacío – presión, expresada en la absorción de líquidos y en la retención de impregnante en el interior de la madera.

Objetivos específicos

- ❖ Medir y analizar la impregnabilidad de la madera en albura y duramen de la especie, expresada según absorción, retención y penetración.
- ❖ Medir y analizar el comportamiento de la impregnabilidad en la dirección radial, tangencial y longitudinal, en relación a su absorción, retención y penetración.
- ❖ Determinar la aptitud o grado de impregnación en relación a la altura de la madera en el fuste, en la zona basal y a 3.2 m. de la zona basal.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características de la especie a utilizar.

Nombre común: Aromo australiano
Nombre científico: *Acacia melanoxylon*
Familia: Mimosáceas

2.1.1 Antecedentes generales del Aromo.

Acacia melanoxylon R. Brown es una latifoliada que se distribuye naturalmente al Sudeste de Australia y Noreste de Tasmania. Pertenece al género *Acacia*, constituido aproximadamente por 1000 especies arbóreas y arbustivas (INFOR, 1998).

Esta especie también se conoce como Australian black-wood, acacia negra y acacia australiana (Yáñez, 1996 cit por Donero, 2001).

Acacia melanoxylon es una especie de rápido crecimiento y alta competitividad, se desarrolla en semisombra, presentando mayor crecimiento cuando existe competencia por la luz y espacio. Las alturas, diámetros y calidad de la madera varían de acuerdo al sitio. Su fuste es recto, a la luz presenta abundantes ramas y de gran diámetro, no así en condiciones de sombra ya que se da la disposición a la poda natural. Aromo crece asociado a otras especies participando como especie secundaria en rodales de *Eucalyptus*. (INFOR, 1998)

Ramírez (1997) señala que en Chile, esta especie se distribuye potencialmente desde la VIII Región en su límite norte y hasta el límite Sur de la X Región, principalmente en los sectores de la depresión intermedia y cordones del valle central bajo los 500 msnm, destacándose como áreas de buen desarrollo el Golfo de Arauco, Valdivia, Temuco y Chiloé, estimándose que cubre una superficie de 2.000 hectáreas, limitándose en el norte por la duración del período seco y en el Sur por las temperaturas mínimas y por la presencia de heladas.

La madera de *Acacia melanoxylon* de alta calidad se caracteriza por presentar buena forma, baja conicidad y poda natural en altura, su madera debe ser sana, libre de nudos, libre de estrés, color oscuro con albura angosta (Stehle, 1996 cit por INFOR, 1998).

Stehle (1996) afirma que *Acacia melanoxylon* no es apto para ser plantada en una extensa área en forma de monocultivo, ya que esto promueve formas ramosas que obligan a podas frecuentes y producen conicidad del fuste.

En cuanto a suelos en que crece *Acacia melanoxylon* Sierbert y Cerda (1994) señalan que prefiere suelos profundos sin restricciones de drenaje, pero que también se desarrolla en suelos podzólicos, rojos y amarillos y arcillas limosas,

suelos pobres como arenales o erosionados desarrollándose con diámetros menores.

Estos autores además señalan que los rodales de buen crecimiento se encuentran en sitios de clima templado lluvioso (precipitaciones sobre 2000 mm), temperaturas medias de 12.5 ° C y ausencia de nieve.

Para producir madera de calidad, el árbol debe desarrollarse lentamente durante los primeros años de vida en condiciones de semisombra, más adelante y ya en posición dominante, el espacio y luz le permitirán un crecimiento vigoroso, se incrementará en diámetro y se hará mas longevo (de 20 a 30 arb/ha ocuparan esta posición).

2.1.2 Características macroscópicas

La madera varía en color y tonalidades, desde amarillo (albura), café rojizo, hasta casi negro en duramen, esto es resultante por la combinación de sitios y factores genéticos. Debido a su distribución incompleta de extraíbles, la madera suele presentar manchas café. (Haslett, 1986 cit por INFOR 1998).

Los anillos de crecimiento se encuentran muy marcados. La zona de primavera presenta un fuerte contraste con la de verano. También el duramen y albura están diferenciados, la albura presenta un color blanco rosáceo y el duramen varía desde café amarillento hasta marrón oscuro, pasando por matices rojizos. Es realmente pesada y resistente a choques y fibraciones. (Chudonoff, 1984 cit por INFOR, 1998).

Según Haslett (1986) cit por INFOR (1998) la madera de *Acacia melanoxylon* puede ser clasificada como madera dura, de densidad media, estando su densidad básica entre 465 – 670 kg/m³, variando esta en forma vertical, y en sentido radial aumenta pausadamente, disminuyendo ligeramente en la zona de albura. *Acacia melanoxylon* jóvenes de rápido crecimiento pueden tener densidad básica baja, alrededor de 400 kg/m³ y sobre el 50% de la madera corresponde a albura.

2.1.3 Utilización de la madera

Acacia melanoxylon es una especie de alto valor maderero ya que posee interesantes características tales como, un color café muy oscuro y un hermoso veteado siendo muy cotizado en la elaboración de muebles y chapas, ambos productos de alto valor comercial (Revista Ciencias Forestales, 1995).

Produce buena madera de veteado pronunciado, flexible, semidura y fácil de trabajar, es apta para construcciones y mueblería. También para la fabricación de muebles, revestimiento de interior, ebanistería, tornería, parquetes, fabricación de instrumentos musicales y estructuras de embarcaciones, entre otros. Además se puede usar con fines ornamentales, control de dunas, estabilización de laderas, cortinas cortavientos y cortafuegos (Internet).

2.2 Movimiento del agua en la madera.

La madera es un material poroso, heterogéneo, anisotrópico y biodegradable. Su carácter poroso es debido principalmente a los lúmenes de las células y a los espacios intercelulares. La heterogeneidad de la madera es producto de su constitución anatómica ya que las células que la integran pueden ser de naturaleza, orientación, forma y composición química variable. La anisotropía se origina por las diferencias que presentan las células en los tres planos de la madera. De esto se deduce, que las diferencias estructurales de las maderas deben reflejarse en su comportamiento al proceso de transporte de fluidos: flujo hidrodinámico (permeabilidad) y difusional entre en estos tres planos (Salvo; Ananías; Cloutier, 2004)

El movimiento de fluidos en el interior de la madera, a través de los elementos celulares, se realiza básicamente por dos principios, que son capilaridad y difusión. El movimiento por capilaridad se realiza a través de flujos de masas a través de cavidades celulares interconectadas de la estructura de la madera bajo la influencia de una gradiente de presión capilar. El principio de difusión se divide en dos, que es la difusión intergas que incluye la transferencia de vapor de agua por el aire de los lúmenes celulares y la difusión de agua ligada que se verifica dentro de las paredes celulares. (Cloutier y Fortín, 1993)

2.3 Impregnabilidad en la madera

Cuando la durabilidad natural de la especie es insuficiente, un tratamiento de protección se hace necesario. Pero la posibilidad de este tratamiento está condicionado por una característica esencial y fundamental de la madera: su impregnabilidad. La impregnabilidad traduce la capacidad de penetración y de circulación de los líquidos en la madera. Es extremadamente variable según las especies, la zona de madera afectada (albura o duramen), el sentido de circulación (paralelo o perpendicular a la fibra de madera) e incluso a veces, por una especie concreta, según de donde proceda o las condiciones de crecimiento (Portal de protección de la madera).

En cuanto a la durabilidad natural la madera de *Acacia melanoxylon* se clasifica como madera no resistente en madera de albura y en duramen como moderadamente resistente. (Santander, 2007)

La norma EN 350-2 "Durabilidad de la madera y las materias derivadas (durabilidad natural de la madera maciza) establece igualmente una clasificación de especies en relación a su impregnabilidad en cuatro categorías según la siguiente tabla.

Tabla 1. Clases de impregnabilidad según la norma EN 350-2

CLASE DE IMPREGNABILIDAD	NOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Impregnable	Fácil de tratar: la madera aserrada puede ser impregnada y sin dificultad con un tratamiento bajo presión.
2	Medianamente impregnable	Bastante fácil de tratar: en principio, una impregnación completa no es posible, pero después de 2 o 3 horas con un tratamiento bajo presión, una impregnación lateral de más de 6 mm puede ser esperada en las resinosas; En las que tienen hojas, una larga proporción de vasos pueden ser impregnados
3	Poco impregnable	Difícil de tratar: 3 a 6 mm de impregnación lateral después de 3 a 4 horas de un tratamiento bajo presión
4	No impregnable	Virtualmente imposible de tratar: poco producto absorbido, incluso después de 3 a 4 horas de tratamiento bajo presión; Impregnaciones laterales y axiales mínimas

2.3.1 Permeabilidad en la madera

Una de las características importantes de la madera es la permeabilidad, ya que de ella depende la eficacia y éxito en una serie de procesos de transformación, como la determinación de programas de secado, impregnación, barnices y recubrimientos superficiales, entre otros (Juacida, 1991).

Según Siau (1984) la permeabilidad es una medida de la facilidad con la cuál los fluidos son transportados a través de un sólido poroso, bajo la influencia de una gradiente de presión.

La permeabilidad es una propiedad de la madera que depende fundamentalmente de los espacios disponibles para el flujo del fluido a través de su estructura anatómica (Salvo *et al* 2004).

La permeabilidad en la madera se ve influenciada por diversos factores, algunos de ellos propios de la madera y otros ajenos a ella, tales como el método que se utilice para introducir el líquido impregnante y por las propiedades que este líquido presente.

La permeabilidad se mide a través de:

- ❖ Retención que son los Kg. de sal en una cierta cantidad de m³ de madera.
- ❖ Absorción son los litros de solución que absorbe la madera
- ❖ Penetración que es el avance del impregnante en el interior de la madera, medido en porcentaje.

2.3.2 Factores de la madera

La aptitud de impregnación de las especies depende en gran medida de sus características, tales como la estructura anatómica, su carácter anisotrópico, formación de duramen diferenciado, ancho del anillo crecimiento, sustancias localizadas dentro de tejidos conductores, contenido de humedad y alteraciones por algún tipo patógeno (Juacida, 1991).

Estructura anatómica

La conducción de los líquidos se realiza en el sentido longitudinal por los vasos en latifoliadas y en coníferas por las traqueídas y en el sentido transversal por los radios leñosos. También se realiza este paso del líquido entre células, a través de las punteaduras y especial importancia tiene el campo de cruce, esto es, el encuentro de los vasos en sentido longitudinal con los radios en sentido radial (Juacida, 1991).

Díaz- vaz (2003) señala que las punteaduras son prolongaciones citoplasmáticas de células aún no diferenciadas, que interconectan a los citoplasmas de las células vecinas.

Juacida (1991) plantea que debido a la estructuración y orientación de los elementos celulares la madera presenta características de permeabilidad diferente, dependiendo del plano (longitudinal, radial y tangencial) que se analice. Generalmente mayores absorciones se producen en sentido longitudinal.

Albura y duramen

En muchos árboles, la parte interna del tronco, duramen, se distingue claramente por su color más oscuro de la otra zona que lo rodea exteriormente, llamada albura. La causa fisiológica de la formación de duramen consiste en que el árbol, a medida que va envejeciendo, sólo necesita de los anillos anuales más externos para la conducción de savia y suministro de las sustancias alimenticias y por ello la madera interna va perdiendo su actividad vital (Kollman, 1959).

En especies que presentan un duramen de fácil diferenciación generalmente existe una variación en su permeabilidad en relación con su respectiva albura,

esto tiene su origen en depositaciones en los lúmenes celulares, obstrucción de punteaduras, tilosis en los vasos, principalmente (Juacida, 1991 y Ananias 1991).

Díaz-vaz (2003) también señala que en el caso de maderas latifoliadas, el transporte de fluidos es modificado por la formación de tálides en los vasos y por el depósito de sustancias incrustantes en la pared celular que restringen el transporte.

Extraíbles

La madera posee, además de sus constituyentes principales (celulosa, lignina, hemicelulosa), otras sustancias en las paredes celulares, espacios intercelulares y contenido celular, las cuales son en su mayoría compuestos solubles que suelen llamarse accesorios o extraíbles. Existen extraíbles primarios (poseen gran parte de azúcares) que se encuentran en la madera de albura y sirven de alimento a organismos que atacan la madera y los extraíbles secundarios se encuentran principalmente en el duramen y son sustancias que se depositan durante el proceso de duraminización (polifenoles, quinonas). (Poblete *et al*, 1991).

Ojeda cita a Resch y Ecklund (1964) donde afirman que uno de los factores importantes que afectan la penetración de líquidos en la madera es la presencia de extraíbles en los lúmenes celulares.

Juacida (1992) señala que todos los compuestos que se localizan en los lúmenes y que mediante una extracción en agua o alcohol son removidos, tiene una marcada influencia en la capacidad de absorción de las especies.

Contenido de Humedad

El contenido óptimo de humedad en la madera para impregnarla, está ligado al proceso de protección al que será sometida la madera, para preservar mediante método a vacío y presión requiere de un contenido de humedad cercano al punto de saturación de fibras, es decir, entre 30 y 35 % (Juacida, 1991).

Alteraciones patológicas

Juacida (1991) señala que maderas que han sido atacadas por algún tipo de hongo debido a un largo almacenaje en el bosque presentan mayor permeabilidad que aquellas maderas sin ataque, ya que la infección perfora la pared celular haciéndola mas permeable a los líquidos impregnantes.

Según Juacida (1991) se ha observado que las maderas que han sido almacenadas en agua y han sido atacadas por bacterias, aumentan su permeabilidad, ya que éstas actúan sobre las punteaduras.

2.3.3 Factores del proceso

Proceso de impregnación

Existen diversas formas de preservar la madera, el sistema de impregnación que se utilice depende de la prolongación de la vida útil que se espera conseguir en la madera.

La impregnabilidad de una especie evalúa la capacidad que ésta presenta para que un líquido pueda entrar en su interior. En todos los sistemas de tratamiento, con excepción del de difusión (que utiliza un como vehículo el agua que contiene la madera), la cantidad de producto que entra en la pieza esta muy relacionada con su estructura anatómica, dimensión, forma y número de células por unidad de volumen y la habilidad de las mismas para transportar líquidos (Internet, 2006)

Kollman (1959) señala que la impregnación de maderas por presión consiste, casi exclusivamente, en el movimiento de los líquidos a través de cavidades celulares, puesto que con los aceites impregnantes no se realiza ninguna difusión de vapor a través de los tabiques celulares y con soluciones salinas acuosas solamente en una proporción muy limitada (hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras).

La impregnación a presión consiste en someter a la madera dentro de un cilindro o autoclave, a un proceso de vacío – presión – vacío. En la primera etapa se realiza un vacío inicial para extraer el aire, en la segunda se aplica impregnante a presión y en la tercera etapa se retira el exceso de éste (Lignum, abril 2003).

Entre los tratamientos en autoclave, el proceso corrientemente utilizado actualmente es el tratamiento por inyección llamado proceso Bethell. El principio consiste en llenar enteramente de producto todas las células de la madera hasta la saturación completa (proceso con las células llenas). (Internet)

Para realizar la impregnación, se emplea el proceso de célula llena, el cual consiste, según la Nch 630, en un proceso de presión/vacío diseñado para controlar una máxima penetración del preservante y con la retención final especificada, en el cual el aire contenido en la madera se mantiene a presión atmosférica o superior a ella antes de la introducción del preservante bajo presión, después de lo cual generalmente se aplica vacío para asegurar una superficie seca.

Influencia del vacío y la presión

Cuando la presión aumenta, incrementa también la absorción de la madera, pero sólo hasta cierto límite (Erickson y Estep, 1962 cit por Schneider, 1984).

Estos incrementos de presión y absorción, pueden verse afectado por factores derivados de la madera o de la solución del preservante (Donoso y Manríquez, 1978 cit por Schneider, 1984).

Se ha determinado que la mayor efectividad del vacío se produce entre los 15 y 60 min. Con respecto a la presión se observa mayor efectividad en la absorción con una prolongación del tiempo de presión que con un aumento de su intensidad (Juacida *et al*, 1980).

Tipo de Impregnante

De la constitución química que tengan los preservantes va a depender su comportamiento, esto es, su densidad, su poder de difusión, su tensión superficial, su poder de dilución, entre otros (Juacida, 1991).

Uno de los impregnantes más usados en Chile es el CCA, constituido de sales múltiples a base de cobre, arsénico y cromo, que dada su composición contiene elemento fungicida, otro insecticida, además de un fijador que resulta muy eficiente en la protección de maderas para su uso (Lignum, febrero 2000).

La importancia del impregnante debe radicar en su toxicidad para hongos e insectos pero debe ser inocuo a los humanos, es por ese motivo, que algunos países europeos y norteamericanos, buscan reemplazar el uso de compuestos como cobre, cromo y arsénico.

Salas (2005) destaca que 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.

2.3.4 Secado y permeabilidad

Se cree que el nivel de absorción radial en contraste con la absorción longitudinal, tiene su base en el diferente efecto que tiene el secado en estos sistemas de conducción, además se ha observado que la penetración radial disminuye en comparación con la absorción tangencial, producto del secado (Schneider, 1984).

Ojeda menciona a Erickson y Estep (1962) que también han observado que con el secado la penetración radial disminuye, en tanto que la tangencial aumenta y la longitudinal permanece constante.

El secado resulta en altas fuerzas capilares en la superficie del agua libre, por lo cual se puede producir aspiración de las punteaduras afectando el proceso de impregnación (Siau, 1984).

2.3.5 Pretratamiento e impregnabilidad.

La permeabilidad se puede mejorar en cierto grado con empleos de algunos pretratamientos.

Generalmente, se obtienen buenos resultados de absorción, removiendo extraíbles con solventes bencénicos (Koran, 1964 cit por Schneider, 1984).

Sagardía (2000) señala que los tratamientos para mejorar la impregnación de las maderas se basa fundamentalmente en el uso de vapor de agua, agua y temperatura.

3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Material

Se utilizaron 3 árboles de *Acacia melanoxylon*, proveniente del Fundo San Germán, cercano al Fundo las Palmas de la Universidad Austral.

Datos de los árboles

La edad de los árboles es de 31 años presentando una altura total de 20 m aproximadamente, todos los ejemplares presentan podas avanzadas, por lo que los troncos no presentan curvatura. Estos árboles provienen de suelo rojo arcilloso.

De cada ejemplar se obtuvieron 2 trozas de 55 cm. a dos alturas diferentes, a cada troza se le tomaron 3 medidas en la misma dirección y otras 3 perpendicular a esta, para calcular un diámetro promedio (Fig. N° 1)

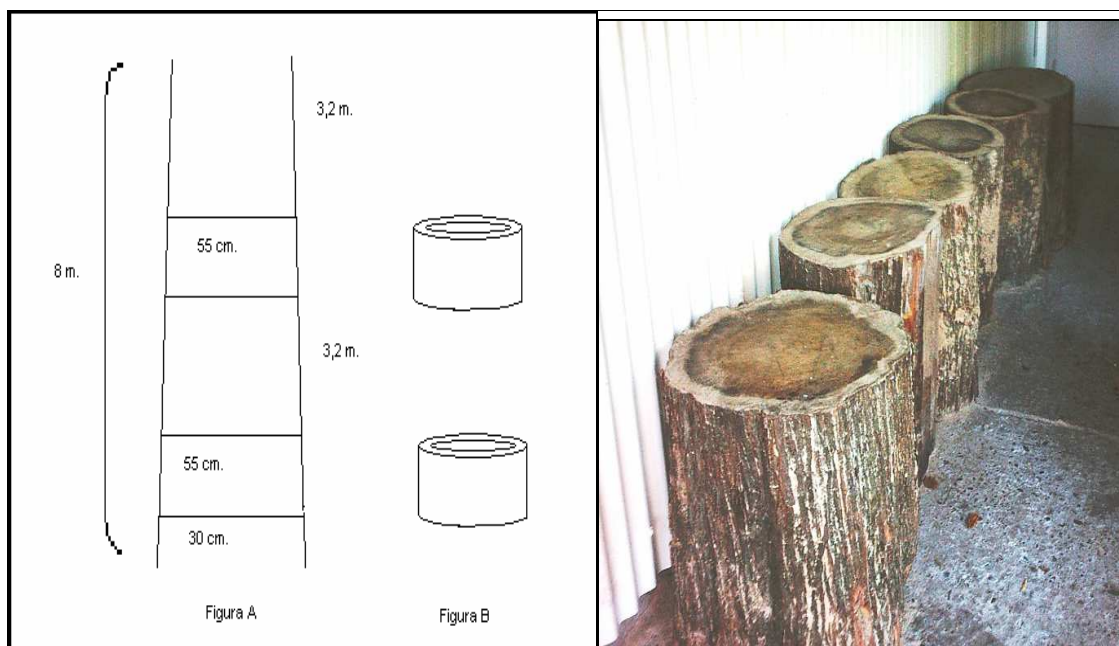


Figura N° 1. Obtención de trozas para la extracción de probetas.

Como indica la figura N° 1 parte A, de los 20 m de cada árbol se ocuparon sólo 8 m. para realizar estudios de secado (3,2 m.) e impregnabilidad (55 cm.).

Los diámetros obtenidos se muestran en el cuadro N° 1, para cada una de las dos basas en los árboles, midiéndose los diámetros menores.

Cuadro N° 1. Diámetros promedios de las basas.

Árboles	Diámetro Promedio (cm.)
1 -- 1	46
1 -- 2	38
2 -- 1	38
2 -- 2	33
3 -- 1	41
3 --2	33

3.1.1 Dimensión probetas de madera

De la troza de 55 cm. se obtuvieron probetas largas de 50 cm aproximadamente y a partir de ésta se extrajeron las probetas para ensayos tangenciales, radiales y longitudinales (figura N° 2)

Se confeccionaron probetas de 3 x 3 x 3 cm. para los ensayos de penetración, absorción y retención radial y tangencial; para los ensayos de absorción, retención y penetración longitudinal se utilizaron probetas de 3 x 3 x 30 cm. Se dejan todos los anillos con la misma orientación, quedando todos paralelos y predominando el corte floreado.

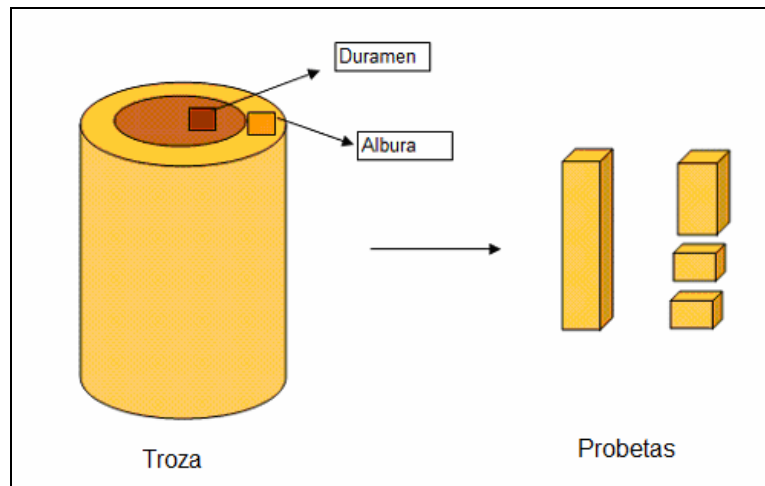


Figura N° 2. Esquema de obtención probetas.

La figura N°2 muestra como se obtuvieron las probetas en la zona de albura y duramen, primero se esquematiza que a partir de la troza se obtiene una muestra larga de 50 cm. De la cuál se obtienen las probetas para ensayos longitudinales, radiales y tangenciales.

El tamaño de las probetas se determinó en consideración de las características propias de la madera a estudiar y teniendo como referencia estudios realizados anteriormente.

Salas (2005) en su estudio de Impregnabilidad en Eucalyptus ocupó probetas de 3.5 x 3.5 x 3.5 cm. para ensayos de penetración radial y tangencial y de 3.5 x 3.5 x 15 cm. para ensayos longitudinales.

Schneider (1984) en su estudio de permeabilidad en madera de Pino Oregón empleó probetas de 3.5 x 3.5 x 3.5 cm. para ensayos de impregnación radial y tangencial y para ensayos de impregnación longitudinal se emplearon probetas de 3.5 x 3.5 x 22 cm.

Otro estudio de impregnabilidad en Álamo, realizado por Sagardía (2000), se emplearon probetas de 5 x 5 x 5 cm. para ensayos radiales y tangenciales y para ensayos longitudinales se ocupó probetas de 5 x 5 x 50 cm.

3.1.2 Sustancia impregnante

Se utilizó una sal hidrosoluble compuesta de Cobre, Cromo y Arsénico en una concentración aproximada de 2% peso volumen, es decir, por cada 100 lt. de agua hay 2 grs. de Sal.

Nombre comercial es Timberlux cuya concentración es de 70 % p/v.

3.1.3 Sustancia selladora

Como sustancia selladora de las caras de las probetas se usó una resina epóxica con características de elasticidad, impermeabilidad, insolubilidad al agua y resistente a la presión, esta resina se comercializa con el nombre Transpox y la relación entre sus dos componentes es de 8:1.

3.1.4 Equipos de impregnación.

Para el proceso de impregnación se trabajó en la planta piloto ubicada en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

❖ Características de la planta

Marca	: Maschinenbau Scholz Co. Apparatebau
Capacidad del cilindro	: 570 l
Presión máxima	: 21 atm
Vacío máximo	: 1 kp/cm ²

Equipos

- ❖ Bomba de vacío: Westinghouse
- ❖ Inyectora
- ❖ Balanza electrónica
- ❖ Cámara de climatizado
- ❖ Instrumentación: Manómetro, vacuómetro, densímetro, probeta de vidrio
- ❖ Otros materiales como cepilladora, sierra huincha, métrica.

3.2 Variables de ensayo

A continuación se detallan las variables que se analizaron en la impregnación con sus cantidades correspondientes, para determinar así, el número de probetas que se emplearon. (Cuadro N° 2)

Variables a estudiar

Cuadro N° 2. Total tratamientos.

Variables	Cantidad
Albura - Duramen	2
Direcciones	3
Altura	2
Total tratamientos	12

Se trabajó con un proceso de impregnación constante, el que se determinó en ensayos preliminares, en los cuales se realizó una sucesión de etapas de vacío inicial, presión con solución y un vacío final como última etapa, de las cuales se hace mención más adelante.

4 METODOLOGÍA

4.1 Tamaño de la muestra

Teniendo en cuenta que se emplearon 12 tratamientos, el cuadro N°3 muestra la cantidad necesarias de probetas en cada dirección y en cada árbol, para realizar los ensayos de impregnación.

Cuadro N° 3. Número de probetas

Dirección	Albura	Duramen	Altura 1	Altura 2	Total
Radial	10	10	10	10	40
Tangencial	10	10	10	10	40
Longitudinal	10	10	10	10	40
Total	30	30	30	30	120

Para cada uno de los 3 árboles se utilizaron 120 probetas, lo que hace un total de 360 probetas.

El número de probetas esta en concordancia con estudios ya realizados. Salas (2005) utilizó 456 probetas, Schneider (1984) 360 probetas y Ojeda (2000) destinó 100 probetas.

4.2 Preparación de las muestras

De cada árbol se cortaron 2 trozas de 55 cm. a dos alturas, que corresponden a la altura basal (altura 1) y media (altura 2).

Se obtuvieron probetas de 50 cm. de largo por 4 x 4 cm. de ancho y de espesor respectivamente, de las cuales fueron cortadas las probetas para ensayos longitudinales, radiales y tangenciales.

Las probetas fueron climatizadas hasta obtener un 12% de humedad para ser impregnadas, esto con el objetivo de asegurar que las fibras de la madera se encuentran en condiciones de recibir el impregnante y captarlo, esto porque la madera ya ha perdido el agua libre.

4.2.1 Sellador de caras.

Las probetas fueron selladas en 5 de sus 6 caras, dejando libre la cara a la cuál se desea que penetre la solución, se aplicó 4 veces el sellador, esto definido con preensayos para asegurar la resistencia del sellador al aplicar la presión de tratamiento.

Las probetas se dejaron alrededor de 10 días secándose en la sala climatizada a una temperatura ambiente de 22°C para luego realiz ar la impregnación.

4.3 Proceso de impregnación

Se utilizó el proceso de célula llena (Bethell) para impregnar la madera con sal CCA.

Se realizó un vacío inicial breve de 15 min. aproximadamente, estando con vacío la madera se introdujo el líquido impregnante para que exista una buena absorción, luego se aumentó la presión para incorporar mayor cantidad del líquido impregnante manteniendo fija la presión y finalmente se realizó un vacío de 15 min. para retirar el líquido sobrante.

La presión empleada es de 11,5 kg/cm², determinado por estudios realizados anteriormente y con un tiempo de 1 hr. determinado por preensayos.

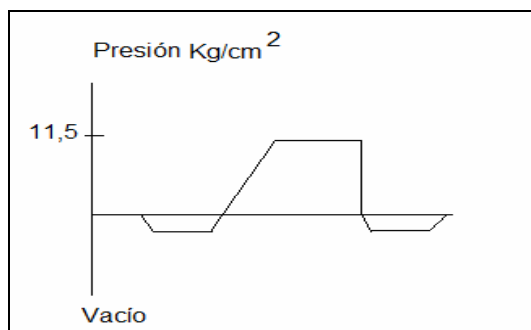


Figura N°3. Diagrama de proceso de impregnación

4.4 Control de variables de Impregnabilidad

Las variables para medición de impregnabilidad se analizaron en términos de Absorción, Retención y Penetración.

❖ Análisis de absorción

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

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

❖ Análisis de retención

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

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

Donde:

ph: peso de la probeta inicial (kg)

pi: peso de la probeta impregnada (kg)

v: volumen de la madera (m³)

d: densidad solución impregnante

p/p: concentración del impregnante peso/peso

❖ Análisis de penetración

Para la medición de la penetración se empleó la NCh 755.Of 1989, la cual describe la técnica para ensayos de coloración sobre la superficie de las probetas.

Esta prueba clorimétrica consiste en la aplicación de cromo azurol sobre las muestras impregnadas y se mide en porcentaje o unidades de longitud.

Las muestras ya impregnadas deben cortarse por la mitad en sentido longitudinal y aplicar cromo azurol sobre la cara sin sellador. La presencia del impregnante se evidencia tras un tono azul que se forma por la reacción de los compuestos químicos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la realización del análisis se utilizó el Software STATGRAPHICS, con el cuál se evalúa diferencia estadística en absorción, retención y penetración en madera de albura y duramen, en los tres sentidos de impregnación y a dos alturas en el árbol.

Para validar el ANOVA se tomó como referencia el test de Bartlett cuyo P-valor indicará la homogeneidad de las varianzas.

5.1 Análisis de la Absorción, Retención y Penetración sobre la madera de albura y duramen

Se muestra en la siguiente figura que la absorción media en madera de albura es 412 l/m^3 con valores mínimo de 37 l/m^3 y valores máximos 539 l/m^3 y en madera de duramen la absorción media es de 98 l/m^3 con absorción mínima de 0 l/m^3 y máxima de 332 l/m^3

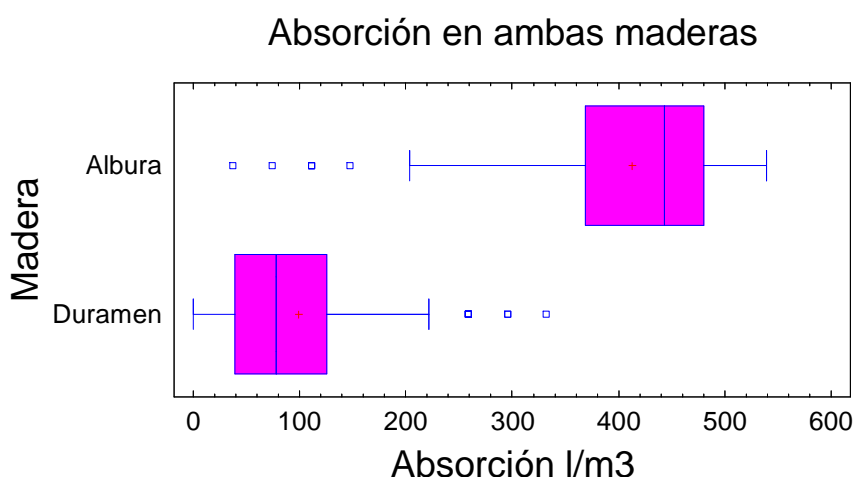


Figura N° 4. Absorción respecto al tipo de madera.

Salas 2005, en su estudio de impregnabilidad en madera de *Eucalyptus nitens* obtiene valores de absorción de 421 l/m^3 en madera de albura y 210 l/m^3 en duramen.

Sagardía 2000, en su memoria de impregnabilidad en madera de *Populus x euroamericana* obtuvo valores menores de absorción promedio de 123 l/m^3 .

A continuación se expone la absorción media en diversas especies arbóreas y bambusáceas, esto permite compararla con la absorción media en *Acacia melanoxylon* expresada en la figura N° 5 como aroma. (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 2003)

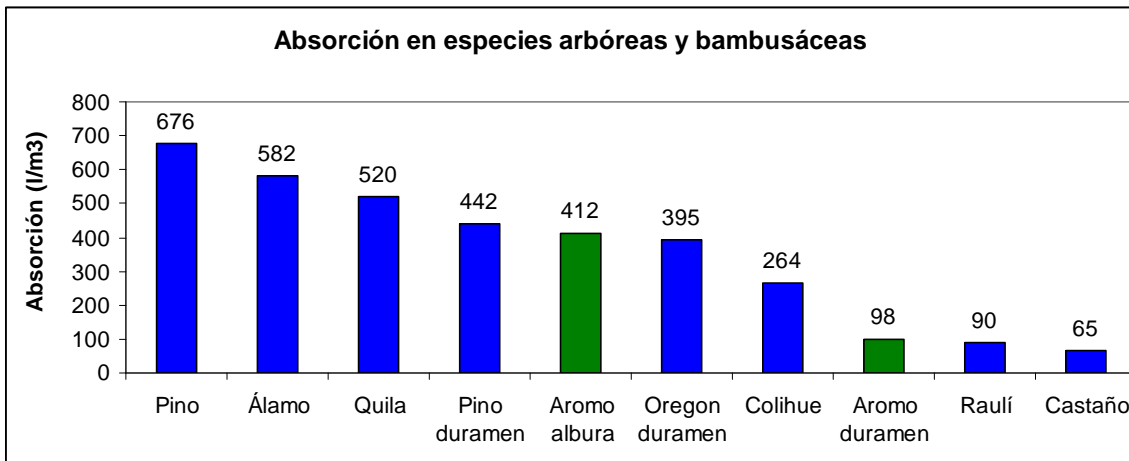


Figura N°5. Absorción en especies arbóreas y bambu sáceas.

Estos resultados son los esperados, ya que la madera de albura por presentar su tejido leñoso con menor cantidad de tílides en los vasos y extraíbles facilita en transporte del impregnante entre sus células en comparación con madera de duramen.

En la figura N°6 se muestra que la retención media en madera de albura es $8,6 \text{ kg/m}^3$ con retención mínima de $0,8 \text{ kg/m}^3$ y retención máxima de $11,2 \text{ kg/m}^3$ y en madera de duramen la retención media es de $2,05 \text{ kg/m}^3$ con retención mínima de 0 kg/m^3 y máxima retención de $6,9 \text{ kg/m}^3$.

Retención en ambas madera

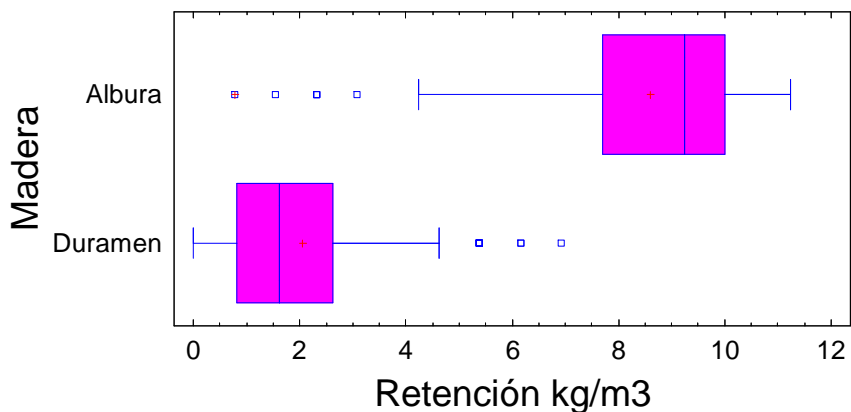


Figura N° 6. Retención respecto al tipo de madera.

Salas 2005, obtiene valores para retención en madera de albura de $10,6 \text{ kg/m}^3$ y en madera de duramen $5,2 \text{ kg/m}^3$.

Al realizar un análisis de regresión para determinar el coeficiente de correlación entre la absorción y retención, se obtuvo la siguiente ecuación del modelo ajustado:

$$\text{Absorción} = 0.0113629 + 47.9446 \cdot \text{Retención}$$

Gráfico del Modelo Ajustado

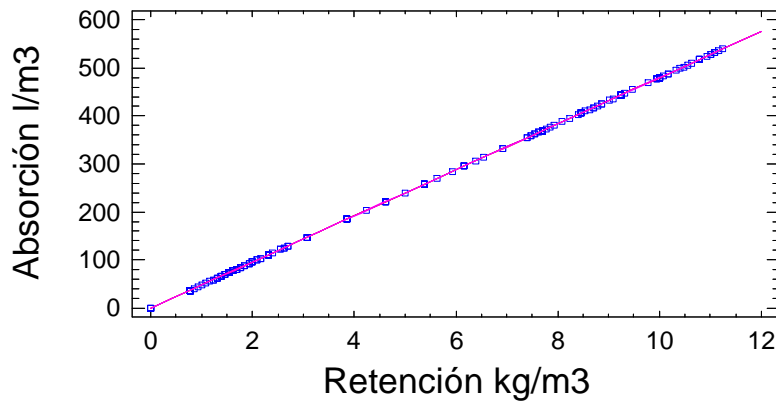


Figura N°7. Relación absorción-retención en ambas maderas.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 100.0% de la variabilidad en Absorción. El coeficiente de correlación es igual a 1.0, indicando una relación fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos es 0.12. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

A continuación se analizó la penetración en porcentaje en madera de albura y duramen. (Ver figura N°8).

Representación por Código de Nivel

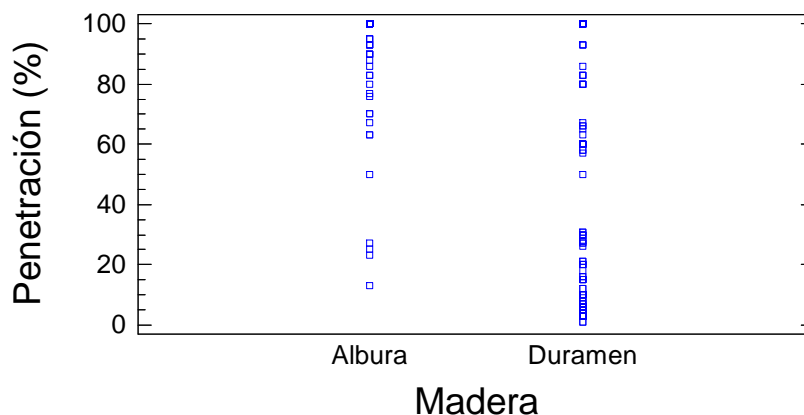


Figura N°8. Penetración del impregnante en madera de albura y duramen.

En la tabla N°2 se presenta un resumen con los valores obtenidos. En el caso de la madera de albura se logra una penetración máxima de 100% completa en toda la probeta, promediando una penetración de 96%. Para la madera de duramen se obtiene una penetración 100%, pero difusa en la probeta, logrando un promedio de 36%.(Ver figura N°10).

Tabla N°2. Penetración en albura y duramen.

	Albura	Duramen
	Penetración (%)	Penetración (%)
Prom.	96	36
Min	13	0
Max	100	100
Desvest.	14	38

Existe mayor variabilidad de los datos en la madera de duramen. Esto se explica por que su tejido leñoso presenta tálides y otras sustancias que impiden la circulación del impregnante por la madera.

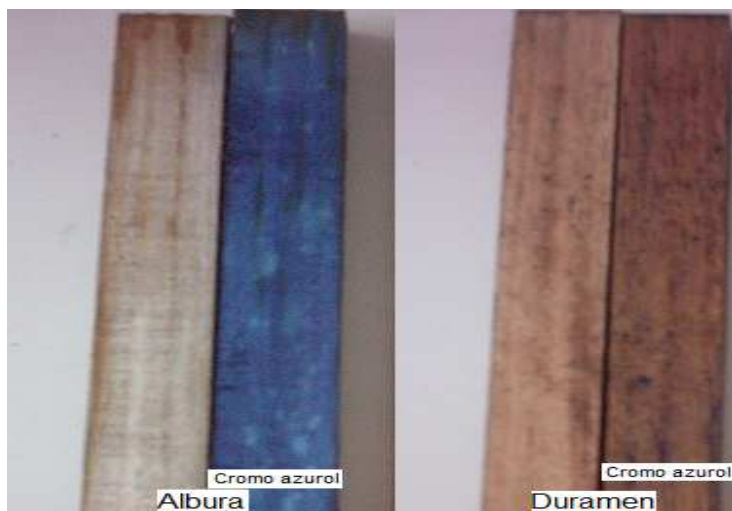


Figura N° 9. Probetas de albura y duramen, aplicad as cromo azurol.

En ambas probetas se aplicó cromo azurol. Al lado derecho de las fotografías se observa el tono azul que indica la presencia del preservante en la madera. En madera de duramen se observa en forma difusa la presencia de sal CCA.

Se realizó un análisis de regresión para determinar el coeficiente de correlación y determinar la relación entre la absorción y penetración.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Penetración} = 22.2276 + 0.174183 \cdot \text{Absorción}$$

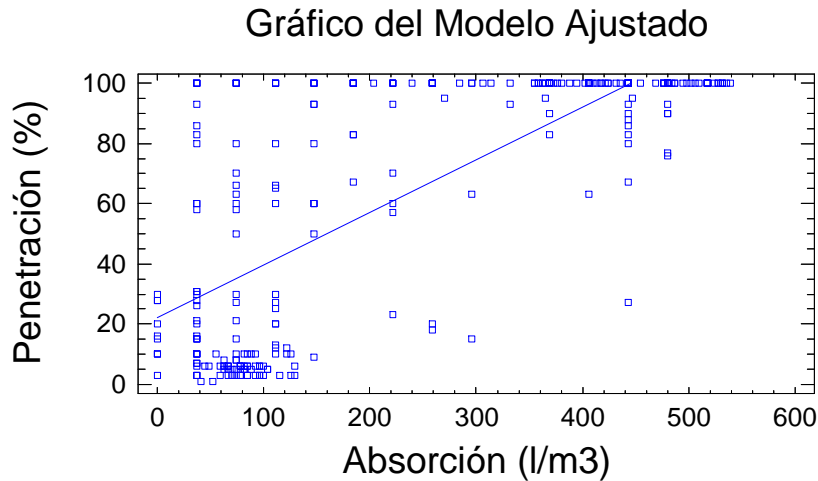


Figura N° 10. Relación entre absorción y penetración.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 57.6% de la variabilidad en Absorción. El coeficiente de correlación es igual a 0.7, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos es 26.6. Este valor puede usarse para construir límites de la predicción para las nuevas observaciones

5.2 *Análisis del comportamiento de la absorción, retención y penetración respecto a la dirección de impregnación*

Ante este comportamiento obtenido, se realizaron 2 tipos de análisis para identificar diferencias: uno analizando el total de los datos obtenidos con el promedio general y otro analizando la diferencia entre albura y duramen, en el cuál se muestran las diferencias para el caso de absorción, retención y penetración.

5.2.1 *Análisis general de los datos a través de los promedios*

La mayor absorción se logró en el sentido de impregnación tangencial alcanzando valores promedio de 294 l/m^3 y valores mínimos en sentido radial con una valor

promedio de 221 l/m³. Para el caso de la retención se observó la misma lógica alcanzado valores mayores en sentido de impregnación tangencial de 5,2 kg/m³ y valores mínimos de 4,6 kg/m³ en sentido radial.

La mayor penetración se logró en el sentido Tangencial, alcanzando valores promedio de 90%.

En el siguiente cuadro se exponen los resultados promedios de las propiedades analizadas.

Cuadro N° 4. Promedios de las variables respecto a propiedades en análisis.

Dirección	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Penetración (%)
LG	249	5.2	52
RD	221	4.6	59
TG	294	6.1	90
Total general	255	5.3	67

LG: corresponde a sentido de impregnación longitudinal

RD: corresponde a sentido de impregnación radial

TG: corresponde a sentido de impregnación tangencial

A continuación se presenta gráficamente la variabilidad de los datos indicando las medias de cada variable para los tres sentidos de impregnación.

Absorción en cada sentido de impregnación en ambas maderas

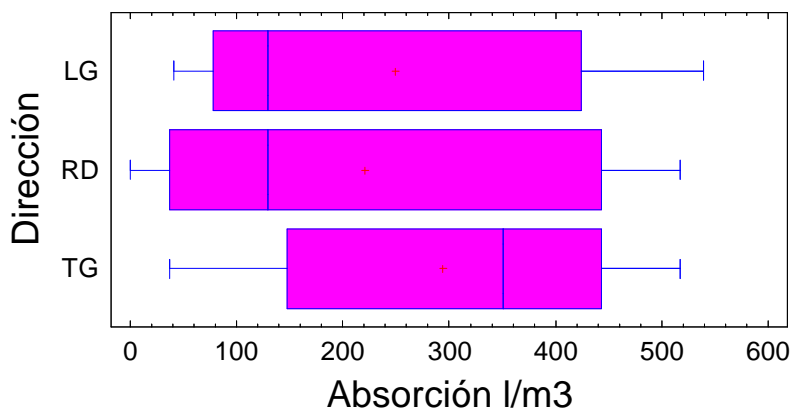


Figura N° 11. Absorción respecto al sentido de impregnación.

Sagardía 2000, obtuvo valores de impregnación en madera de álamos en sentido de impregnación tangencial de 154 l/m³, en sentido longitudinal de 113 l/m³ y para el sentido radial de 105 l/m³.

En la figura 12 se muestra la retención en los tres sentidos de impregnación.

Retención en cada sentido de impregnación en ambas maderas

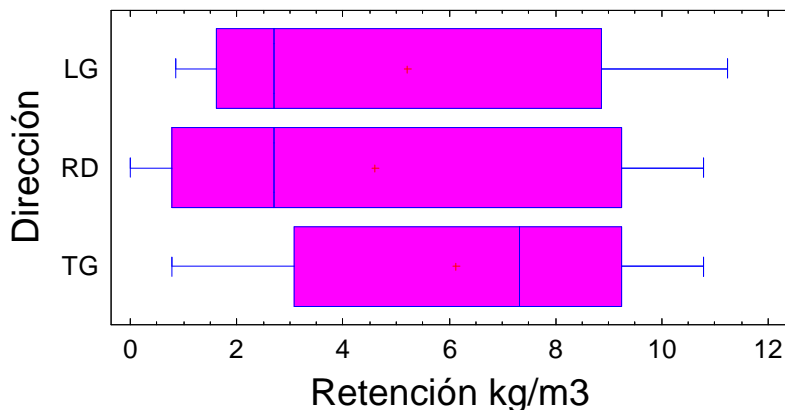


Figura N° 12. Retención respecto al sentido de impregnación.

La mayor absorción y retención en sentido tangencial dice relación con la cantidad de sustancias (tíldes, extraíbles) posicionada en los vasos. Esta mayor permeabilidad en sentido tangencial esta relacionada por la alta permeabilidad y alto contenido de punteaduras.

Se realizó un análisis de regresión para determinar el coeficiente de correlación y determinar la relación entre la absorción y retención en los tres sentidos de impregnación para ambas maderas.

Ecuación del modelo ajustado:

$$\text{Absorción} = 0.0113629 + 47.9446 \cdot \text{Retención}$$

Gráfico del Modelo Ajustado

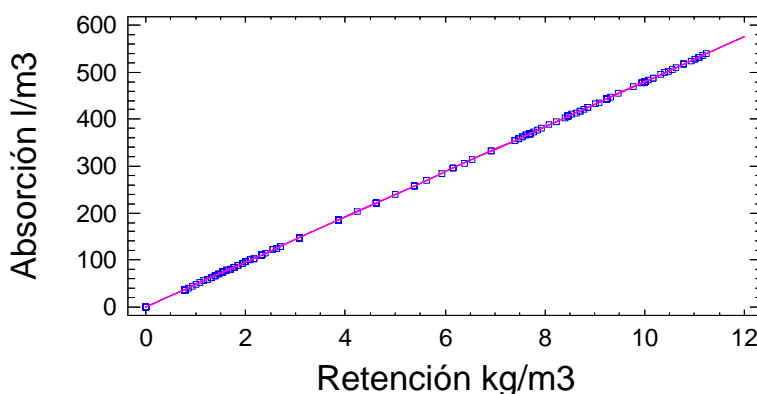


Figura N° 13. Relación entre absorción y retención en los tres sentidos de impregnación.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 100.0% de la variabilidad en Absorción. El coeficiente de correlación es igual a 1.0, indicando

una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación mostró la desviación típica de los residuos es 0.12. Este valor puede usarse para construir límites de la predicción para nuevas observaciones

En cuanto a la penetración, los mejores resultados se obtuvieron en sentido de impregnación tangencial con un 90% promedio, alcanzando una penetración de 100% y mínima de 6%.

En sentido de impregnación longitudinal se obtuvo penetración promedio de 52%, se logra penetración máxima de 100% y mínima de 1%.

Para el caso del sentido radial, la penetración promedio alcanzó es de 59%, con penetración máxima de 100% y mínima de 3%.

Penetración en cada sentido de impregnación

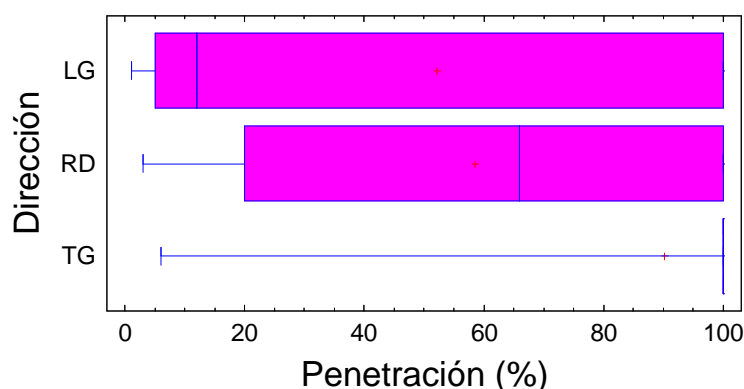


Figura N° 14. Penetración en cada sentido de impregnación.

Se realizó un análisis de regresión para determinar el coeficiente de correlación y determinar la relación entre la absorción y penetración, considerando los tres sentidos de impregnación.

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 21.0194 + 0.176627 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado

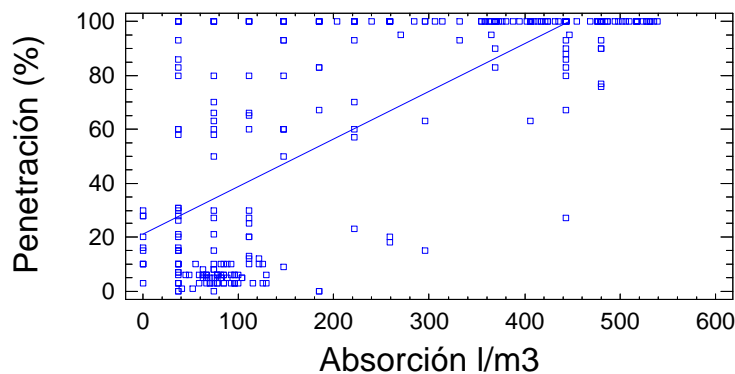


Figura 15. Relación entre absorción y penetración en los tres sentidos de impregnación.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 58% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.7, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos es 27.

5.2.2 Análisis para madera de albura y duramen.

Se presentan resultados para la absorción, retención y penetración individuales en madera de albura y duramen en cada sentido de impregnación.

Puesto que los resultados de test de Bartlett muestran que el P-valor es inferior a 0,05 existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas para un nivel de confianza del 95%.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de valores promedio de absorción, retención y penetración en cada sentido de impregnación para cada tipo de madera.

Tabla N°3. Promedios de variables de control de impregnabilidad.

Dirección	Absorción (l/m ³)	Retención (kg/m ³)	Penetración (%)
LG-A	419	8.7	100
RD-A	382	8.0	87
TG-A	434	9.1	99
LG-D	82	1.7	5
RD-D	65	1.4	26
TG-D	148	3.1	81

Referente a la figura 16 se muestra que la mayor absorción se obtuvo en sentido tangencial con una media de 434 l/m³ en madera de albura y de 148 l/m³ en duramen.

Valores mínimos se obtuvieron en sentido radial, para el caso de madera de albura es de 382 l/m³ y en madera de duramen es 65 l/m³.

Absorción en cada sentido de impregnación para cada madera

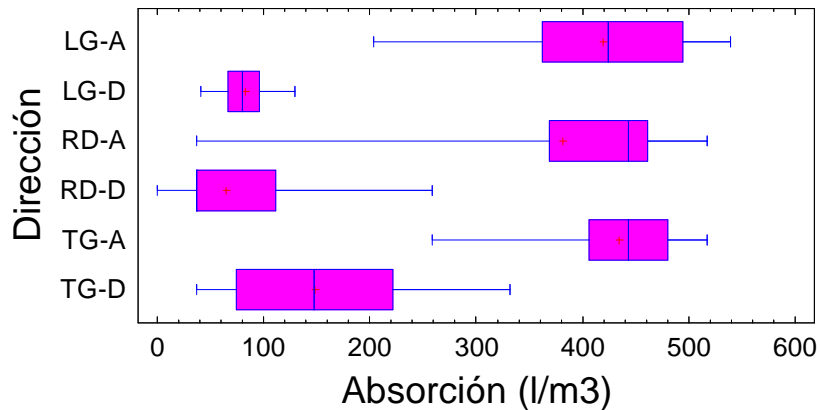


Figura N° 16. Efecto de la absorción en albura y duramen respecto al sentido de impregnación.

Para el análisis de retención el valor máximo medio se logró en sentido tangencial con $9,1 \text{ kg/m}^3$ en madera de albura y en duramen de $3,1 \text{ kg/m}^3$. La mínima retención se obtuvo el sentido radial con 8 kg/m^3 y $1,4 \text{ kg/m}^3$ correspondientemente.

Retención en cada sentido de impregnación para cada madera

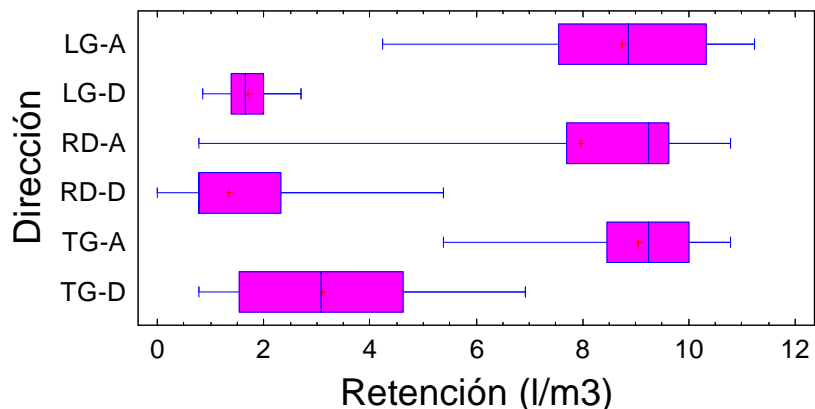


Figura N° 17. Efecto de la retención en albura y duramen respecto al sentido de impregnación.

Para la penetración se muestra en la figura 18 la variabilidad de los datos obtenidos.

En madera de albura se observó en general penetración completa en cada sentido, en el sentido de impregnación longitudinal el promedio de penetración alcanza el 100%, en sentido tangencial alcanza un promedio de 99% y en sentido radial el promedio es de 87%.

Penetración en cada sentido de impregnación en cada tipo de madera

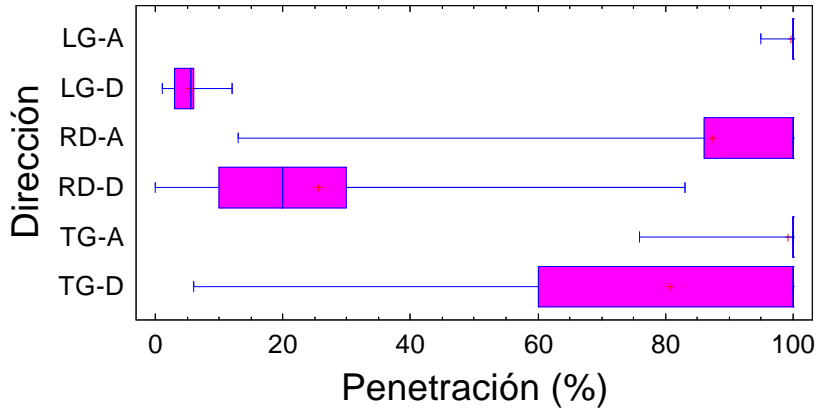


Figura N° 18. Penetración en cada sentido de impregnación en madera de albura y duramen.

En la tabla N° 4 se presenta un resumen de la regresión simple realizada en las variables de control de impregnabilidad entre penetración y absorción.

Tabla N° 4. Resumen de regresión para penetración y absorción.

Madera	Dirección	Ecuación	P-valor	R2	Coef. Correlación
Albura	Longitudinal	Penetración=98.9256 + 0.00195702*Absorción	≥0,01	2,4 %	0,3
Albura	Radial	Penetración=58.3207 + 0.0766321*Absorción	<0,01	19,8%	0,4
Albura	Tangencial	Penetración=99.2051 + 0.000229847*Absorción	≥0,01	0,0009%	0,003
Duramen	Longitudinal	Penetración=3.77711 + 0.020113*Absorción	≥0,01	3%	0,2
Duramen	Radial	Penetración=17.0253 + 0.131142*Absorción	<0,05	10,6%	0,3
Duramen	Tangencial	Penetración=69.5346 + 0.0744202*Absorción	≥0,01	4,4%	0,2

En general no existe relación entre la absorción que explique o prediga el comportamiento de la penetración. (Ver anexo 2)

Donde el P-valor es mayor o igual 0,01 no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

En el sentido de impregnación radial el P-valor es menor a 0,01 por lo que existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 95% o superior.

5.3 Análisis del grado de impregnación en relación a la altura de la madera en el fuste

Se analizaron 2 alturas una en la zona basal en la que se hace referencia como altura 1 (aprox. 30 cm desde la base del fuste) y la otra a 3,2 mt desde la base del fuste nombrado como altura 2.

Se compararon los tres sentidos de impregnación para determinar la influencia que tiene la altura sobre cada variable de control.

En general en la altura 2 se obtuvo mayor absorción promedio correspondiendo a 259 l/m³ y máxima de 539 l/m³.

Tabla N° 5. Resumen de absorción en cada sentido de impregnación respecto a las alturas.

Altura	Madera	Dirección	Promedio	Máximo	Mínimo	Desvest
1	Albura	LG-A	423	532	270	62
	Albura	RD-A	404	517	111	102
	Albura	TG-A	439	517	369	45
	Total Albura		422	532	111	74
	Duramen	LG-D	72	96	41	14
	Duramen	RD-D	63	185	0	57
	Duramen	TG-D	112	295	37	75
	Total Duramen		82	295	0	58
Total altura 1		251	532	0	183	
2	Albura	LG-A	415	539	203	109
	Albura	RD-A	360	517	37	147
	Albura	TG-A	430	517	258	58
	Total Albura		402	539	37	113
	Duramen	LG-D	92	129	63	22
	Duramen	RD-D	67	258	0	60
	Duramen	TG-D	185	332	37	75
	Total Duramen		115	332	0	75
Total altura 2		259	539	0	173	

En madera de albura la mayor absorción promedio se obtuvo en sentido tangencial con 439 l/m³ en la altura 1 y menor absorción en sentido radial con 360 l/m³ en la altura 2.

En la madera de duramen se obtuvo mayor absorción en altura 2 en todos los sentidos de impregnación, pero en el sentido de impregnación tangencial la absorción fue mayor siendo de 185 l/m³ y la menor absorción se observó en el sentido radial con 63 l/m³ en la altura 1.

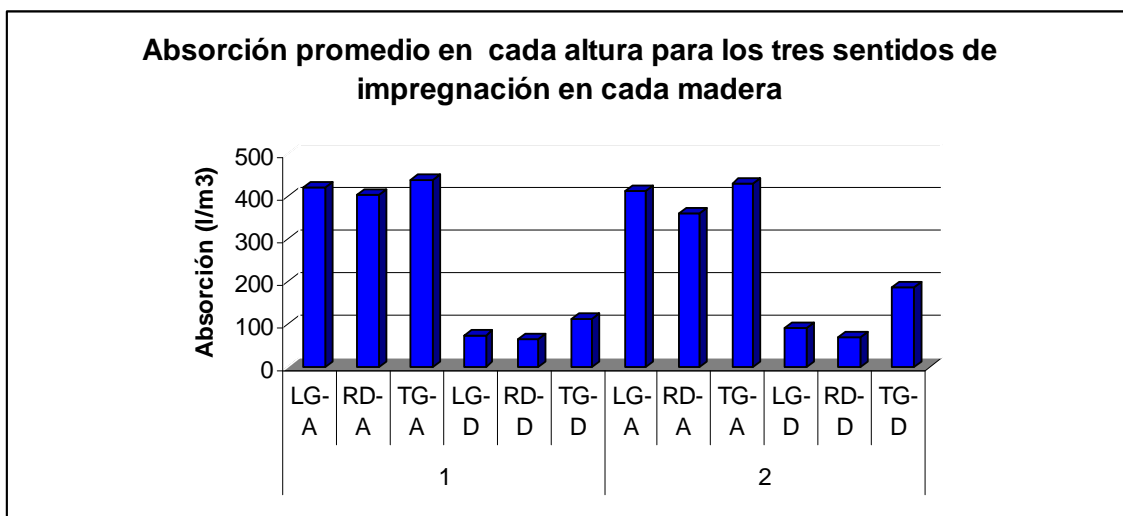


Figura N° 19: Absorción en ambas maderas según sentido de impregnación y en cada altura.

A continuación se muestran resultados de retención en cada altura para cada sentido de impregnación en cada tipo de madera.

En general se obtuvo mayor retención en la altura 2 con promedio de 5,4 kg/m³ alcanzando un máximo de 9,2 kg/m³.

Tabla N° 6. Resumen de Retención en cada sentido de impregnación respecto a las alturas.

Altura	Madera	Dirección	Promedio	Máximo	Mínimo	Desvest	
1	Albura	LG-A	8.8	11.1	5.6	1.3	
		RD-A	8.4	10.8	2.3	2.1	
		TG-A	9.2	10.8	7.7	0.9	
	Total Albura			8.8	11.1	2.3	1.5
	Duramen	LG-D	1.5	2.0	0.8	0.3	
		RD-D	1.3	3.9	0.0	1.2	
		TG-D	2.3	6.2	0.8	1.6	
	Total Duramen			1.7	6.2	0.0	1.2
	Total altura 1			5.2	11.1	0.0	3.8
2	Albura	LG-A	8.7	11.2	4.2	2.3	
		RD-A	7.5	10.8	0.8	3.1	
		TG-A	9.0	10.8	5.4	1.2	
	Total Albura			8.4	11.2	0.8	2.4
	Duramen	LG-D	1.9	2.7	1.3	0.5	
		RD-D	1.4	5.4	0.0	1.2	
		TG-D	3.9	6.9	0.8	1.6	
	Total Duramen			2.4	6.9	0.0	1.6
	Total altura 2			5.4	11.2	0.0	3.6

En madera de albura la mayor retención se alcanzó en altura 1, en el sentido de impregnación tangencial el mayor promedio es de 9,2 kg/m³ y menor retención en altura 2 en sentido radial correspondiendo a 7,5 kg/m³. En madera de duramen en altura 2 se logró la mayor retención, en el sentido de impregnación tangencial se encuentra el promedio mayor con 3,9 kg/m³ y menor retención en altura 1 sentido de impregnación radial de 1,3 kg/m³.

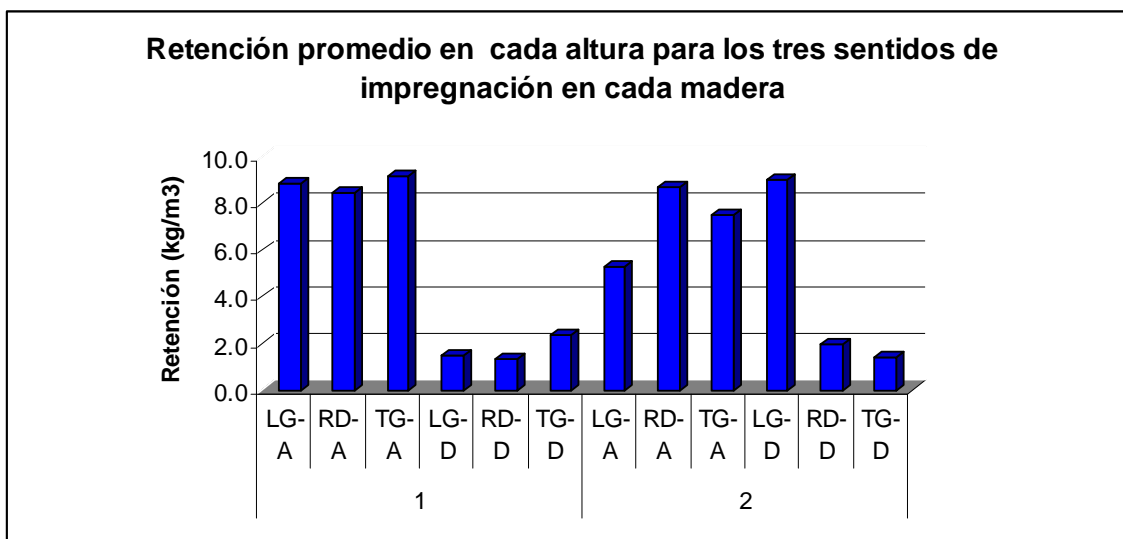


Figura N° 20: Retención en ambas madera según sentido de impregnación en cada altura.

A continuación se expone los resultados de penetración (medido en porcentaje) en cada altura en los tres sentidos de impregnación para cada altura.

En la tabla N°7 se exponen resultados resumen de penetración, en general se observó que en altura 2 existe mayor porcentaje de penetración promedio de 68% con máximo de 100%.

Tabla N°7. Resumen de Penetración cada sentido de impregnación respecto a las alturas.

Altura	Madera	Dirección	Promedio	Máximo	Mínimo	Desvest	
1	Albur	LG-A	100	100	95	2	
		RD-A	88	100	27	18	
		TG-A	99	100	76	4	
	Total Albur			96	100	27	12
	Duramen	LG-D	5	10	1	2	
		RD-D	23	83	0	24	
		TG-D	71	100	9	33	
	Total Duramen			32	100	0	36
	Total altura 1			64	100	0	42
2	Albur	LG-A	100	100	100	0	
		RD-A	86	100	13	26	
		TG-A	99	100	83	3	
	Total Albur			96	100	13	16
	Duramen	LG-D	6	12	3	3	
		RD-D	29	80	0	22	
		TG-D	90	100	6	22	
	Total Duramen			41	100	0	40
	Total altura 2			68	100	0	41

En madera de albur no se observó diferencia de penetración, en ambas alturas la mayor penetración sucede en sentido longitudinal y la mínima penetración se obtuvo en altura 2 en sentido de impregnación radial siendo de 88%.

En madera de duramen se obtuvo mayor porcentaje de penetración en altura 2, diferencias notables se obtuvieron en sentido tangencial cuyo promedio es de 90% y la mínima penetración en altura 1 sentido de impregnación longitudinal correspondiendo a 5%.

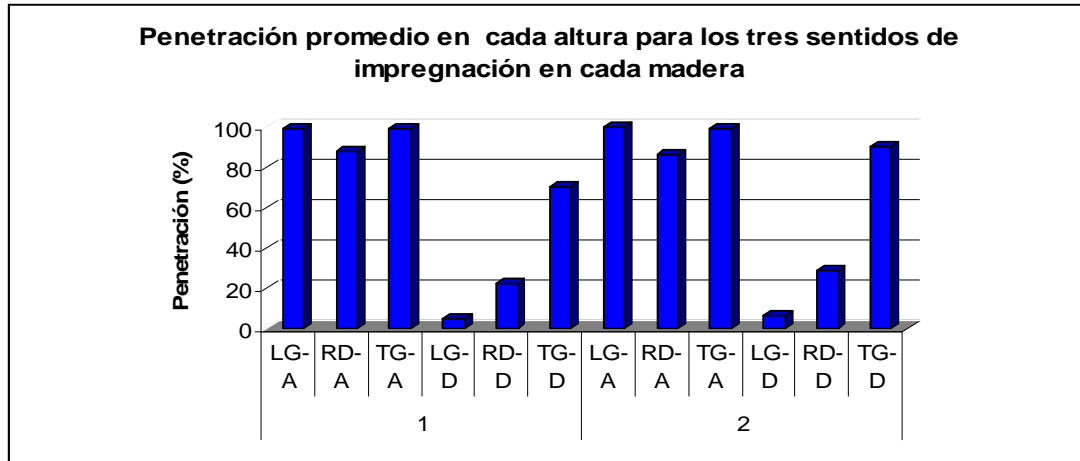


Figura N°21. Penetración en ambas madera para cada sentido de impregnación en cada altura.

Según la norma EN 350-2 la madera de albura adquiere nominación de Impregnable y la madera de duramen como Medianamente impregnable. Existe variación en cuánto los sentidos de impregnación, el longitudinal en madera de duramen se clasifica como Poco impregnable, esto debido a tálides, extraíbles y sustancias que se depositan en los vasos e impiden la circulación libre del impregnante.

Se expone la relación que existe en la altura 1 en cuánto a la penetración y absorción del impregnante en la madera.

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 19.9851 + 0.174209 \cdot \text{Absorción}$$

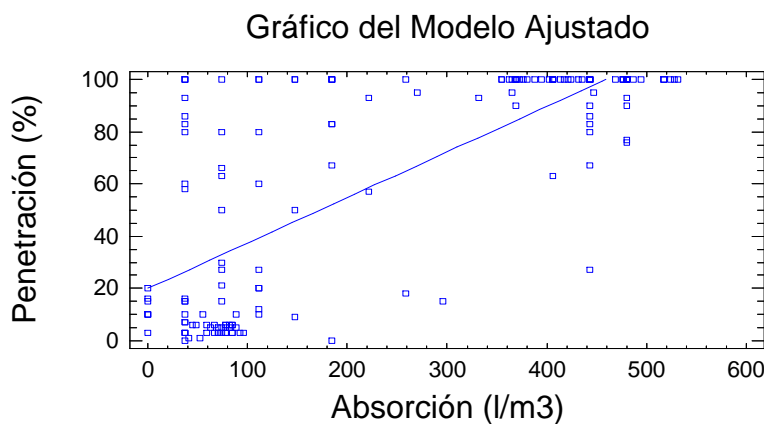


Figura N°22. Relación entre penetración y absorción en altura 1.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 57.8% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.8, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos es 27.3.

Se realizó el mismo análisis en la altura 2, en la cuál se muestra estadísticamente la relación que existe entre penetración y absorción.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Penetración} = 22.0915 + 0.178895 \cdot \text{Absorción}$$

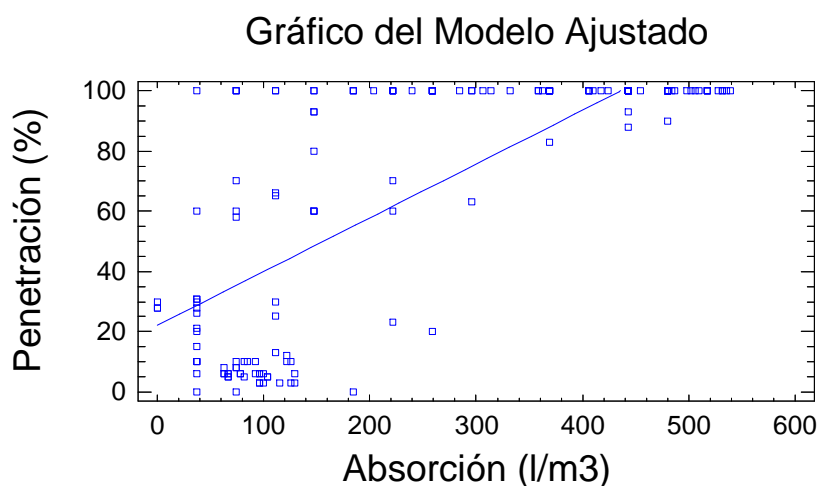


Figura N° 23. Relación entre penetración y absorción en altura 2.

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indicó que el modelo explica un 57.6% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.8, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos es 26.6.

Para inferir la diferencia estadística en los sentidos de impregnación, se muestra en la tabla N° 8 y N° 9 un resumen con la ecuación, el P-valor, el R² y el coeficiente de correlación en cada sentido de impregnación en madera de albura y duramen para cada altura.

Tabla N°8. Resumen de correlación para penetración en altura 1.

Madera	Dirección	Ecuación	P-valor	R2	Coef. Correlación
Albura	Longitudinal	$95.9703 + 0.00834584 * \text{Absorción}$	<0,01	11.50%	0.3
Albura	Radial	$82.0929 + 0.0152959 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	0.70%	0.08
Albura	Tangencial	$106.484 - 0.0165966 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	2.80%	-0.2
Duramen	Longitudinal	$3.87279 + 0.0105262 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	0.5%	0.07
Duramen	Radial	$11.2715 + 0.183996 * \text{Absorción}$	<0,05	18.40%	0.4
Duramen	Tangencial	$79.0395 - 0.0724595 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	2.70%	-0.2

Tabla N°9. Resumen de correlación para penetración en altura 2.

Madera	Dirección	Ecuación	P-valor	R2	Coef. Correlación
Albura	Longitudinal	$100.092 - 0.000304042 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	3.2%	-0.2
Albura	Radial	$48.0352 + 0.107707 * \text{Absorción}$	<0,01	38.0%	0.6
Albura	Tangencial	$94.8816 + 0.0105958 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	3.9%	0.2
Duramen	Longitudinal	$6.38587 - 0.00165015 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	0.02%	-0.01
Duramen	Radial	$23.5859 + 0.0748412 * \text{Absorción}$	$\geq 0,01$	4.10%	0.2
Duramen	Tangencial	$66.7217 + 0.128401 * \text{Absorción}$	<0,05	20.4%	0.46

Con este análisis detallado, donde el P-valor es mayor o igual 0,01 no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

Para el caso que P-valor es menor a 0,01 que existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 95% o superior. (Ver anexo 3)

6 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican la impregnabilidad en *Acacia melanoxylon* en madera de albura y duramen, en cada sentido de impregnación y en último punto haciendo referencia a cada altura, según las variables de control analizadas:

1.-En absorción general en madera de albura se obtuvo valores de 412 l/m³ y en duramen de 98 l/m³ en promedio. En cuánto a la retención general en madera de albura se obtuvo valores de 8,6 kg/m³ y en madera de duramen 2 kg/m³ en promedio, el modelo de correlación explica en un 100% la relación entre absorción y retención.

4.- En penetración global la madera de albura alcanzó 96% y en duramen 36% promedio. Según la norma EN 350-2 la madera de albura adquiere nominación de Impregnable y la madera de duramen como Medianamente impregnable. El modelo de correlación explica en un 57,6% la relación entre absorción general y penetración general.

6.- En cuanto al sentido de impregnación se alcanzaron mayores absorciones promedio en sentido tangencial para ambas maderas, en albura se obtuvo 434 l/m³ y en duramen 148 l/m³. Menor absorción se obtuvo en sentido radial, siendo madera de albura de 385 l/m³ y en madera de duramen de 65 l/m³.

8.- En relación a la retención, los mejores resultados se obtuvieron en sentido tangencial, para madera de albura la retención fue de 9,1 kg/m³ y en madera duramen 3,1 kg/m³. Menores retenciones se lograron en sentido radial, siendo madera de albura de 7,97 kg/m³ y en madera de duramen de 1,46 kg/m³.

En cuánto a la relación entre los sentidos de impregnación y las variables de control de impregnación el modelo de correlación explica en un 100% la relación entre absorción y retención y no existe relación entre absorción y penetración.

11.- En relación a las alturas se obtuvo mayor absorción promedio en altura 2 siendo de 259 l/m³. En madera de albura altura 1 el sentido de impregnación tangencial alcanzó mayor absorción promedio de 439 l/m³ y en madera de duramen altura 2 el sentido de impregnación tangencial obtuvo mayor absorción promedio de 185 l/m³.

12.- En cuanto a la retención de las alturas se obtuvo mayor retención promedio en altura 2 siendo de 5,4 kg/m³. En madera de albura altura 1 el sentido de impregnación tangencial alcanzó mayor retención promedio de 9,2 kg/m³ y en madera de duramen altura 2 el sentido de impregnación tangencial obtuvo mayor retención promedio de 3,9 kg/m³.

13.- En relación a la penetración de las alturas se obtuvo mayor penetración promedio en altura 2 siendo de 68%. En madera de albura en ambas alturas en el sentido de impregnación longitudinal alcanzó mayor penetración promedio de

100% y en madera de duramen altura 2 el sentido de impregnación tangencial obtiene mayor penetración promedio de 90%.

14.-La relación entre penetración y absorción en altura 1 es de 57,8% que es explicado por el modelo de correlación.

15.-En altura 1, sentido de impregnación radial madera de duramen el P- valor de la tabla ANOVA es menor a 0,05 lo que indica que existe diferencia estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 90%.

16.-En altura 2, sentido de impregnación radial madera de albura y en sentido de impregnación tangencial en madera de duramen el P- valor de la tabla ANOVA es menor a 0,01 y 0,05 respectivamente, lo que indica que existe diferencia estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 90% o superior.

7 BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOTECAS UBB - WERKEN EPU. 2004. Influencia de la estructura anatómica en la permeabilidad específica transversal al gas del pino radiata

CERDA, J. P. 1995. Productividad de *Acacia melanoxylon* R. BR. (aroma australiano) en relación a algunos sitios. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales.

CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. 2003. Bambú en Chile.

DÍAZ-VAZ, J. E. 2003. Anatomía de maderas. 151 p.

DONDERO, J. L. 2001. Evaluación del crecimiento en plantación mixta de *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco con acacia *melanoxylon* R. BR. En el fundo las Palmas, provincia de Valdivia. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 40 p.

LIGUM. 1991. Preservación de la madera, un rubro con proyecciones. Vol. 3: 26 – 29.

INSTITUTO FORESTAL (INFOR). 1998. Monografía de Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon*). 83 p.

INSTITUTO FORESTAL (INFOR). 2001. Acacias genética y silvicultura. Vol. 2 N° 2.

INTERNET: [http:// www.infor.cl/](http://www.infor.cl/)

JUACIDA, R. 1973. Ensayos de industrialización en algunas maderas preservadas de uso comercial.

JUACIDA, R. 1991. Algunos factores que influyen en la permeabilidad de las maderas. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Publicación Docente N° 3. 16 p.

JUACIDA, R. 1980. Algunos factores que influyen en la impregnación de maderas. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Publicación Docente N° 3. 16 p.

OJEDA, H. 2000. Variación de la impregnabilidad en altura y diámetro en Castaño (*Castanea sativa*. Millar). Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 72 p.

Portal CONAF

Internet: <http://www.conaf.cl>

Portal temático protección de la madera

Internet: <http://www.protecciondelamadera.com/>

RAMIREZ, J.C. 1997. Determinación del área geográfica potencial para el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon* R. Br. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 105 p.

SAGARDÍA, R. 2000. Estudio de Impregnabilidad y Durabilidad Natural en madera de *Populus x Euramericana* (DODE) Guinier. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 67 p.

SALAS, V. 2005. Impregnabilidad de la madera de *Eucalyptus nitens*. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 50 p.

SALUD AMBIENTAL. 2006. Durabilidad natural e impregnabilidad.

Internet: <http://www.saludambiental.net/>

SANTANDER, K. 2007. Durabilidad natural de *Acacia melanoxylon* R. Brown frente al ataque de hongos xilófagos

SCHNEIDER, C. 1984. Estudio de permeabilidad en madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziessii* (MIRB.) Franco) y Ciprés (*Cupressus lusitanica* MILL.) Crecido en la zona de Valdivia. Tesis. Valdivia (Chile). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 48 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Abstract

ABSTRACT

The objective of the current work is to determine the impregnation degree on wood of *Acacia melanoxylon*. Impregnation as the capacity of wood of absorbing, retaining and penetrating the CCA preservatives in their fibers. The control variables (absorption, retention and penetration) are evaluated on both types of wood: alburnum and duramen, by the 3 impregnation capacities on two different tree heights.

For this investigation 3 specimens of *Acacia melanoxylon* were used, coming from Fundo San German in Universidad Austral of Valdivia. From each specimen two pieces were obtained, one at the base of the tree and the other one at 3,2 meters from the ground. From each piece 10 samples of alburnum and 10 samples of duramen wood of 50 centimeters long were obtained. These samples remained inside of an air-conditioned room with the purpose of reducing their humidity content up to 12%, to ensure an adequate impregnation of CCA salts.

The impregnation characteristics were defined by tests to determine vacuum pressure, impregnation pressure and their times of permanence, for this NCh 360 was used, which describes the full cell process. To measure the impregnability of the 3 impregnation capacities, 5 out of 6 test-tubes were sealed, leaving 1 for analysis.

For analyzing the control variables current Chilean norms were applied and Statgraphics software was used to make a statistical analysis of these variables. The result of these analysis shows that the absorption of alburnum wood is 24 times superior than the absorption showed by the duramen wood. On a tangential cut better absorption results are found on alburnum wood of 434 l/m³ and on duramen wood of 148 l/m³, as far as height, the best absorption result was height 2 of 259 l/m³. The correlation model explains in a 100% the relationship between absorption and retention. The average retention of alburnum wood was 8,6 kg/m³ and 2kg/m³ on duramen wood, better results were found on tangential cuts of each woods. Also better retention results are obtained on height 2 of 5,4 kg/m³. Alburnum wood is classified as an impregnable wood, because it has a 96% of impregnability and as far as duramen wood, it can be said that it is hardly impregnable because it only possesses a 36% of impregnability.

ANEXO 2

Absorción y Retención.

Absorción en madera de albura

Altura 1. Dirección de impregnación Longitudinal.

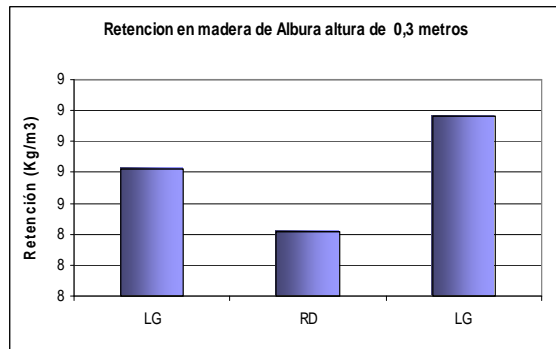
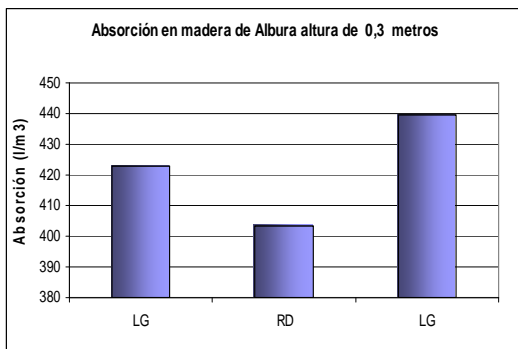
	Densidad (Kg/m3)	Peso inicial (grs)	Peso impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m3)	Retención (Kg/m3)
Promedio	695.43	187.77	302.30	0.115	422.93	8.82
Max	781.48	211.00	334.00	0.144	531.74	11.09
Min	588.89	159.00	269.00	0.073	269.56	5.62
Des. Est	45.31	12.23	17.54	0.017	62.13	1.30

Altura 1. Dirección de impregnación Radial.

	Densidad (Kg/m3)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m3)	Retención (Kg/m3)
Promedio	771.16	20.82	31.75	0.01	403.55	8.42
Max	888.89	24.00	35.00	0.01	516.97	10.79
Min	703.70	19.00	25.00	0.00	110.78	2.31
Des. Est	41.63	1.12	2.74	0.00	102.46	2.14

Altura 1. Dirección de impregnación Tangencial.

	Densidad (Kg/m3)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m3)	Retención (Kg/m3)
Promedio	781.48	21.10	33.00	0.01	439.42	9.17
Max	888.89	24.00	36.00	0.01	516.97	10.79
Min	703.70	19.00	30.00	0.01	369.26	7.70
Des. Est	40.51	1.09	1.51	0.00	44.81	0.93



Altura 2. Dirección de impregnación Longitudinal.

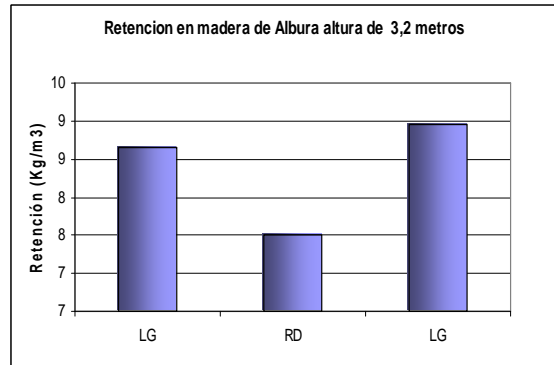
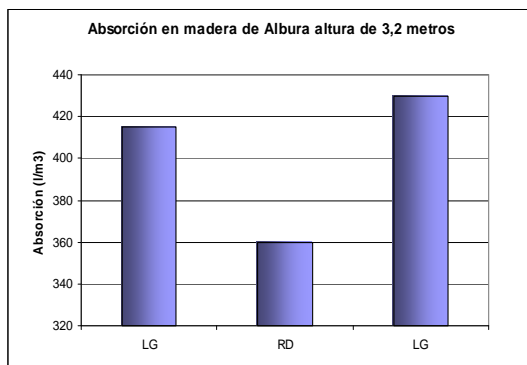
	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	Peso impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	682.12	184.17	296.59	0.112	415.10	8.66
Max	725.93	196.00	329.00	0.146	539.12	11.25
Min	622.22	168.00	238.00	0.055	203.09	4.24
Des. Est	27.36	7.39	27.23	0.03	109.39	2.28

Altura 2. Dirección de impregnación Radial.

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	763.23	20.61	30.36	0.010	360.03	7.51
Max	851.85	23.00	34.00	0.014	516.97	10.79
Min	666.67	18.00	23.00	0.001	36.93	0.77
Des. Est	44.33	1.20	3.43	0.004	147.23	3.07

Altura 2. Dirección de impregnación Tangencial.

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	762.96	20.60	32.23	0.012	429.58	8.96
Max	851.85	23.00	34.00	0.014	516.97	10.79
Min	666.67	18.00	30.00	0.007	258.48	5.39
Des. Est	47.25	1.28	1.01	0.00	57.76	1.21



Absorción en madera de duramen.

Altura 1. Dirección de impregnación Longitudinal

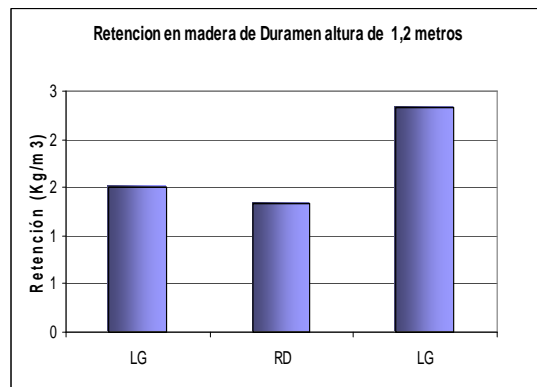
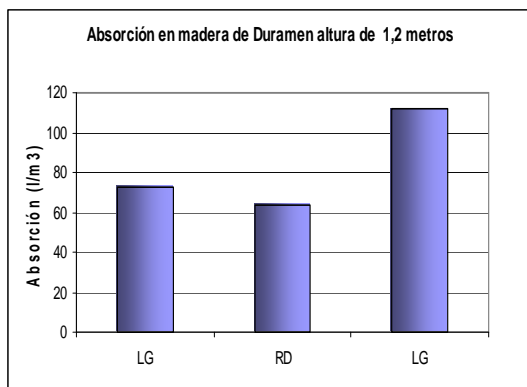
	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	Peso impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	662.47	178.87	198.43	0.020	72.25	1.51
Max	744.44	201.00	224.00	0.026	96.01	2.00
Min	588.89	159.00	175.00	0.011	40.62	0.85
Des. Est	36.88	9.96	10.71	0.004	14.44	0.30

Altura 1. Dirección de impregnación Radial

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	710.14	19.53	21.23	0.00	62.77	1.31
Max	777.78	23.00	24.00	0.01	184.63	3.85
Min	592.59	16.00	19.00	0.00	0.00	0.00
Des. Est	38.12	1.38	1.38	0.00	56.67	1.18

Altura 1. Dirección de impregnación Tangencial

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	712.64	19.24	22.28	0.00	112.05	2.34
Max	814.81	22.00	27.00	0.01	295.41	6.16
Min	629.63	17.00	19.00	0.00	36.93	0.77
Des. Est	44.99	1.21	1.87	0.00	74.82	1.56



Altura 2. Dirección de impregnación Longitudinal

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	Peso impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	641.25	173.14	198.41	0.025	93.33	1.95
Max	718.52	194.00	228.00	0.035	129.24	2.70
Min	566.67	153.00	175.00	0.017	62.77	1.31
Des. Est	38.80	10.48	13.36	0.006	21.93	0.46

Altura 2. Dirección de impregnación Radial

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	711.11	19.21	21.04	0.002	67.26	1.40
Max	851.85	23.00	25.00	0.007	258.48	5.39
Min	629.63	17.00	18.00	0.000	0.00	0.00
Des. Est	50.15	1.34	1.93	0.002	59.50	1.24

Altura 1. Dirección de impregnación Tangencial

	Densidad (Kg/m ³)	Peso inicial (grs)	impregnado (grs)	Diferencia peso (Kg)	Absorción (l/m ³)	Retención (Kg/m ³)
Promedio	696.04	18.79	23.79	0.005	184.63	3.85
Max	777.78	21.00	27.00	0.009	332.34	6.93
Min	592.59	16.00	20.00	0.001	36.93	0.77
Des. Est	45.77	1.24	1.74	0.00	75.16	1.57

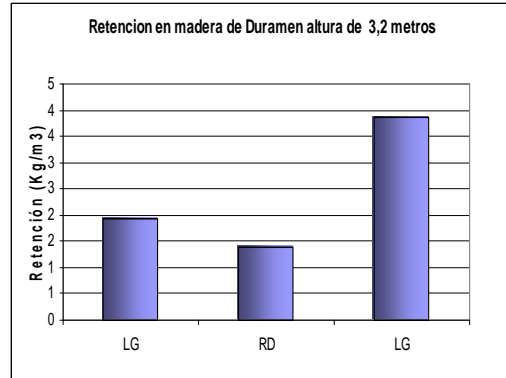
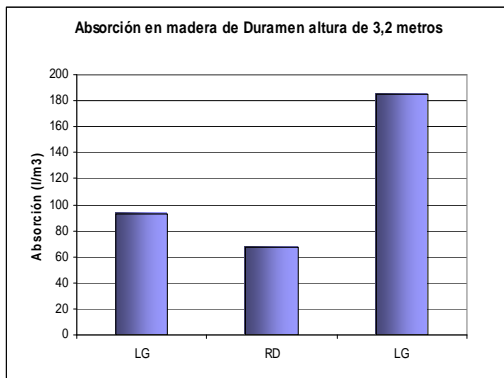


Tabla de medias

Absorción en ambas maderas.

Madera	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Albura	175	412.435	9103.34	95.4114
Duramen	176	98.359	4751.35	68.93
Total	351	254.95	31632.6	177.856

Retención en ambas madera

Madera	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Albura	175	8.60206	3.9617	1.9904
Duramen	176	2.05131	2.06592	1.43733
Total	351	5.31735	13.7611	3.7096

Absorción para los tres sentidos de impregnación.

Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	119	249.299	32602.9	180.563
RD	114	220.587	34908.3	186.838
TG	118	293.846	25322.2	159.129
Total	351	254.95	31632.6	177.856

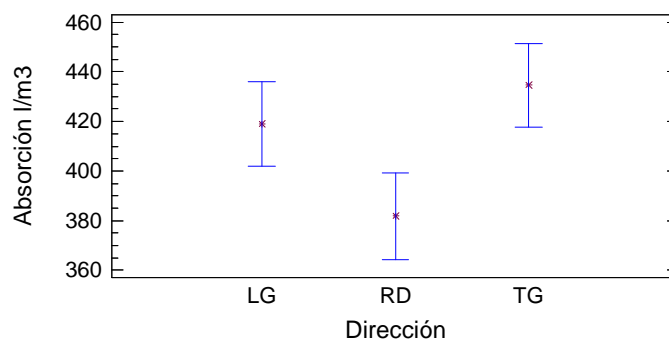
Retención para los tres sentido de impregnación.

Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	119	5.20109	14.1911	3.7671
RD	114	4.59991	15.1811	3.89629
TG	118	6.12771	11.0138	3.31871
Total	351	5.31735	13.7611	3.7096

Absorción en los tres sentido de impregnación en madera de albura.

Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	59	419.082	7722.21	87.8761
RD	56	381.793	16277.2	127.582
TG	60	434.5	2651.69	51.4946
Total	175	412.435	9103.34	95.4114

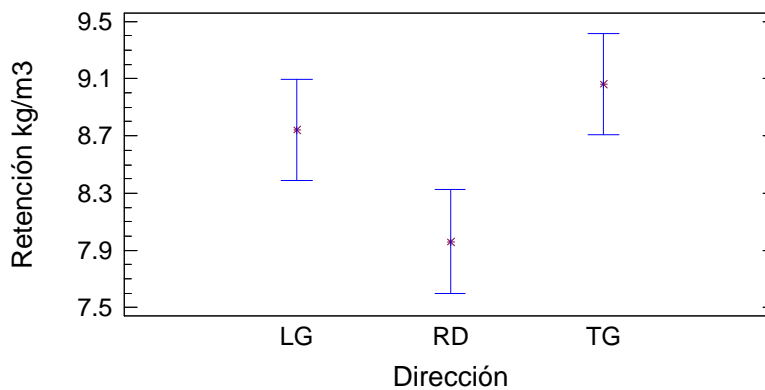
Absorción en madera de albura en sus tres sentidos de impregnación



Retención en madera de duramen en sus tres sentidos de impregnación

Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	59	8.74322	3.36217	1.83362
RD	56	7.96161	7.0797	2.66077
TG	60	9.061	1.15531	1.07485
Total	175	8.60206	3.9617	1.9904

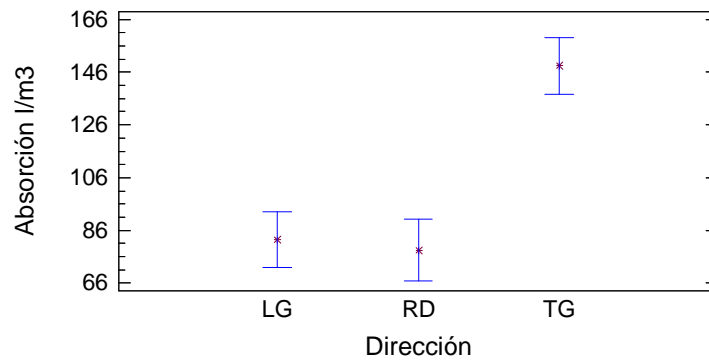
Retención en madera de albura en sus tres sentidos de impregnación



Absorción en madera de duramen para los tres sentidos de impregnación

Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	60	82.3462	442.492	21.0355
RD	48	78.47	2937.27	54.1966
TG	58	148.342	6865.03	82.8555
Total	166	104.284	4417.66	66.4654

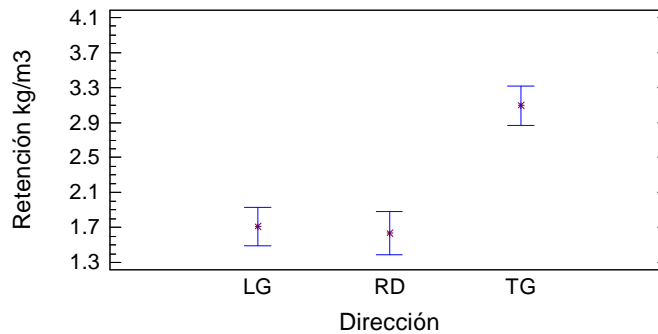
Absorción en madera de duramen en sus tres sentidos de impregnación



Retención en madera de duramen en sus tres sentidos de impregnación

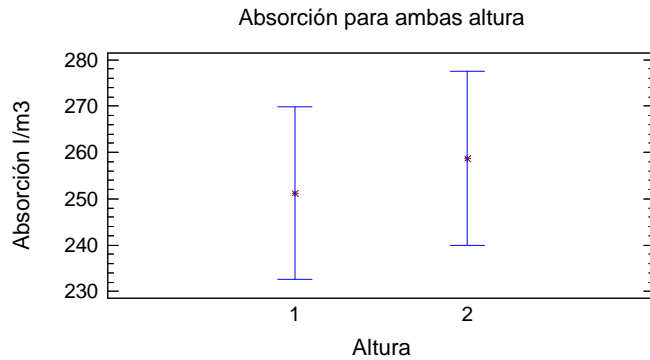
Dirección	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
LG	60	1.718	0.192701	0.438977
RD	48	1.63625	1.27726	1.13016
TG	58	3.09328	2.98512	1.72775
Total	166	2.17488	1.92075	1.38591

Retención en madera de duramen según sentido de impregnación



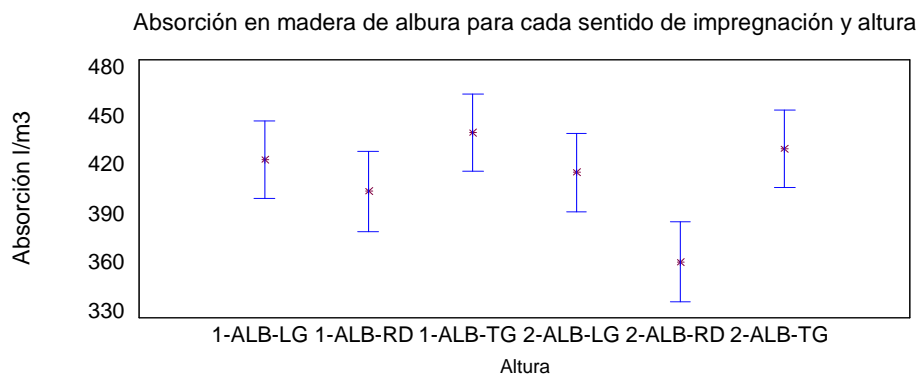
Absorción para cada altura

Altura	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
1	177	251.245	33490.2	183.003
2	174	258.718	29897.3	172.908
Total	351	254.95	31632.6	177.856



Absorción en madera de albura para cada sentido de impregnación y altura

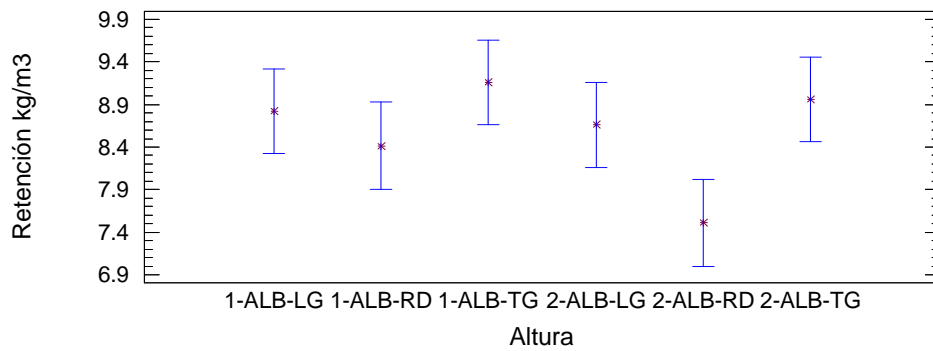
Altura	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
1-ALB-LG	30	422.929	3860.05	62.1293
1-ALB-RD	28	403.553	10497.2	102.456
1-ALB-TG	30	439.423	2007.73	44.8077
2-ALB-LG	29	415.102	11965.8	109.388
2-ALB-RD	28	360.033	21678.0	147.235
2-ALB-TG	30	429.576	3336.93	57.7662
Total	175	412.435	9103.34	95.4114



Retención para madera de albura en cada sentido de impregnación para cada altura

Altura	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
1-ALB-LG	30	8.82367	1.68008	1.29618
1-ALB-RD	28	8.41536	4.56614	2.13685
1-ALB-TG	30	9.16367	0.875231	0.935538
2-ALB-LG	29	8.66	5.2103	2.28261
2-ALB-RD	28	7.50786	9.42844	3.07058
2-ALB-TG	30	8.95833	1.45342	1.20558
Total	175	8.60206	3.9617	1.9904

Retención en madera de albura en sus tres sentidos de impregnación y altura



Anexo 3
Penetración

Penetración para cada sentido de impregnación en cada tipo de madera

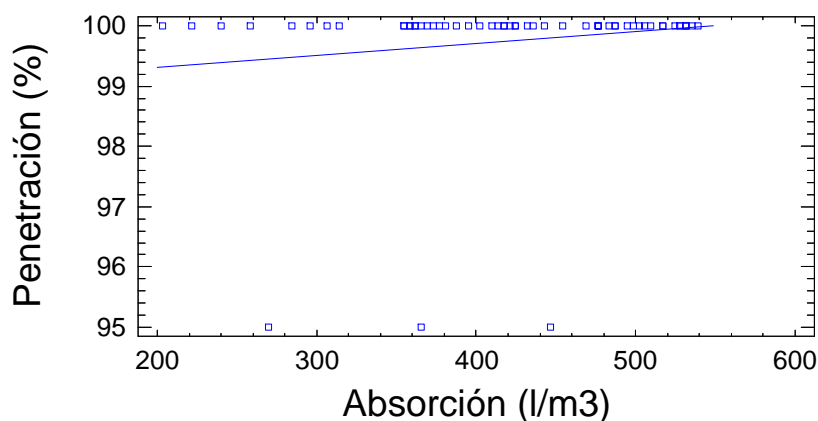
Dirección	Promedio	Máximo	Mínimo	Desvest
LG-A	100	100	95	1
RD-A	87	100	13	22
TG-A	99	100	76	4
LG-D	5	12	1	2
RD-D	26	83	0	23
TG-D	81	100	6	30

Regresión lineal en madera de albura sentido de impregnación Longitudinal

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 98.9256 + 0.00195702 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

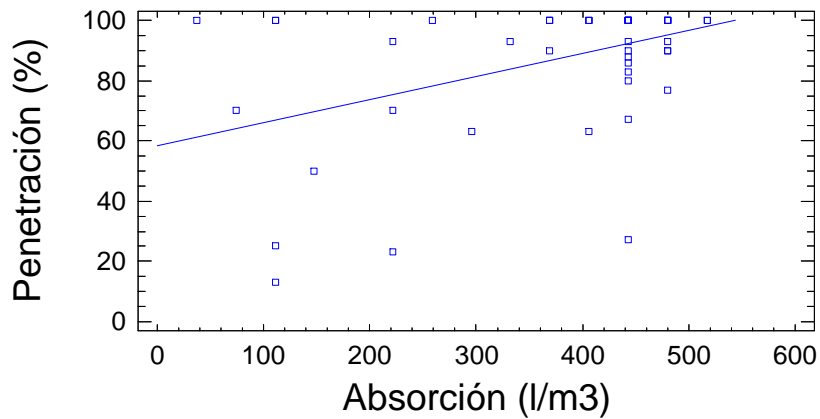
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 2.4% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.3, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 1.1.

Regresión lineal en madera de albura sentido de impregnación Radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 58.3207 + 0.0766321 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 99%.

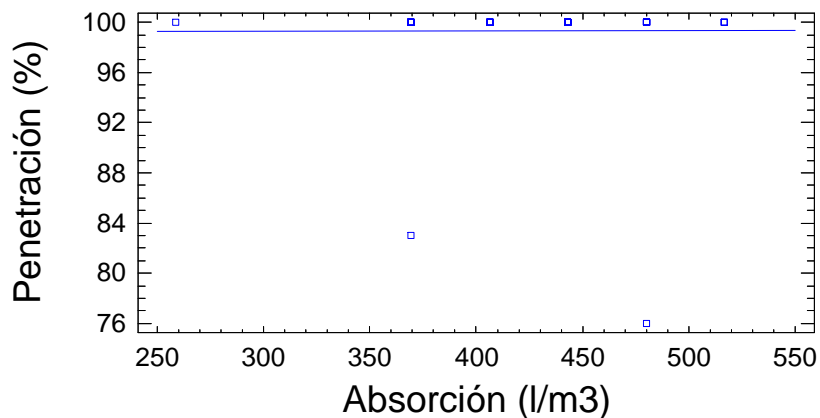
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 19.8% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.4, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 20.1.

Regresión lineal en madera de albura dirección tangencial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 99.2051 + 0.000229847 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

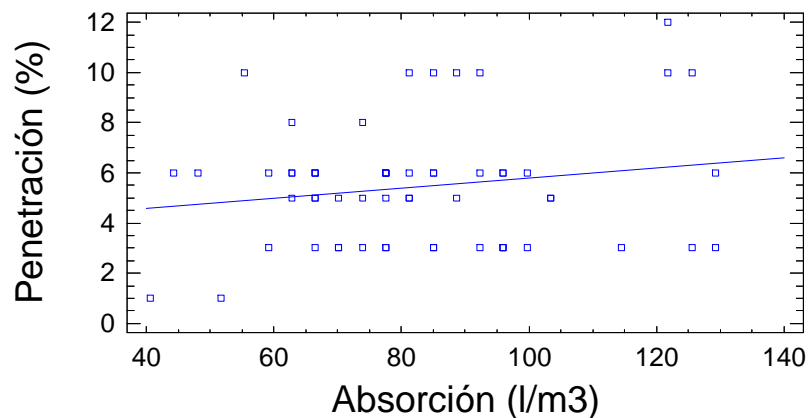
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 0.0009% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.003, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 3.8

Regresión lineal en madera de duramen sentido de impregnación longitudinal

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 3.77711 + 0.020113 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

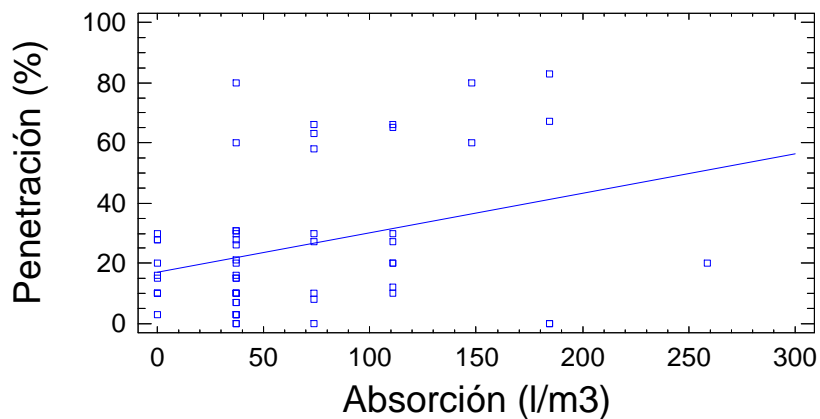
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 3.0% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 2.4.

Regresión lineal en madera de duramen sentido de impregnación Radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 17.0253 + 0.131142 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 95%.

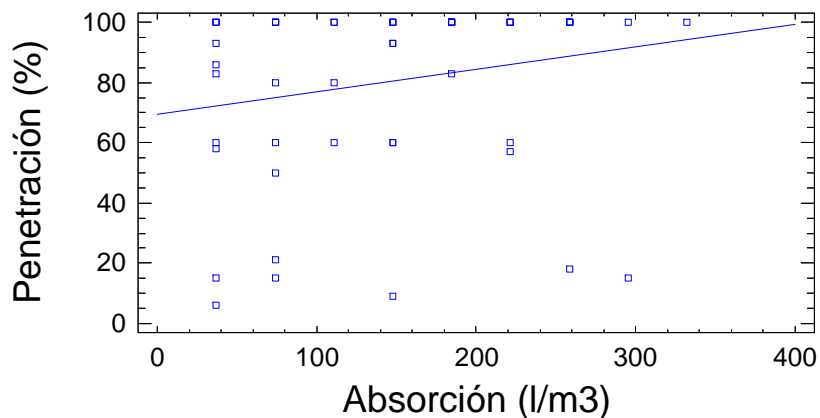
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 10.6% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.3, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 22.3.

Regresión lineal en madera de duramen sentido de impregnación Tangencial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 69.5346 + 0.0744202 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 4.4% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 29.2.

Anexo 4

Alturas

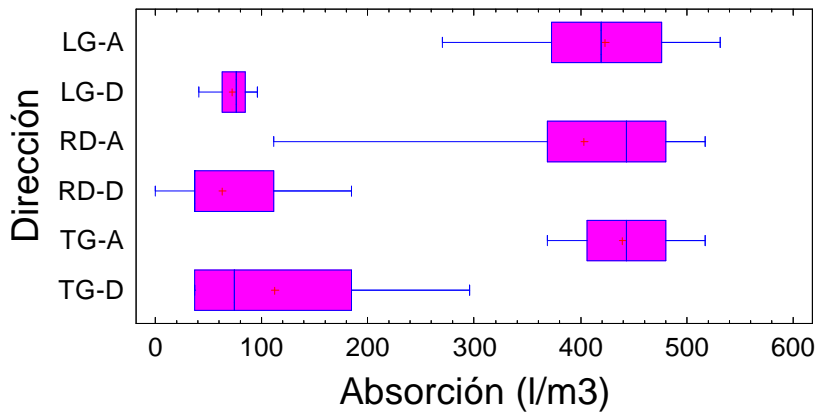
Absorción en altura 1

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	5.18475E6	5	1.03695E6	249.91	0.0000
Intra grupos	709524.0	171	4149.26		
Total (Corr.)	5.89428E6	176			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Absorción medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%

Absorción en altura 1 para cada variable



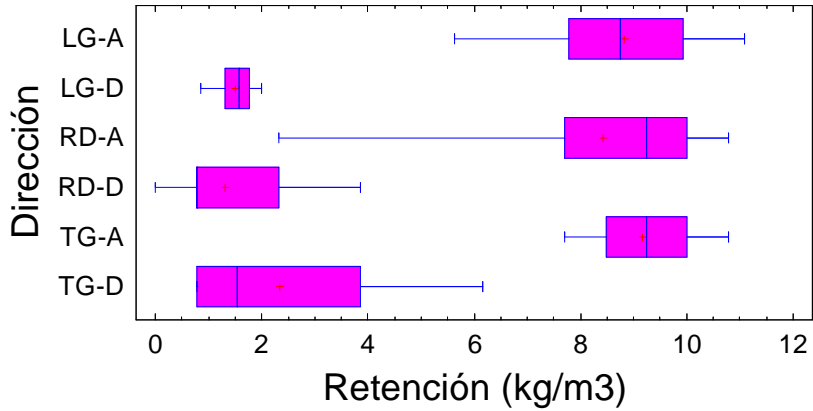
Retención en altura 1

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	2256.61	5	451.322	249.91	0.0000
Intra grupos	308.813	171	1.80592		
Total (Corr.)	2565.42	176			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Retención medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%.

Retención en altura 1



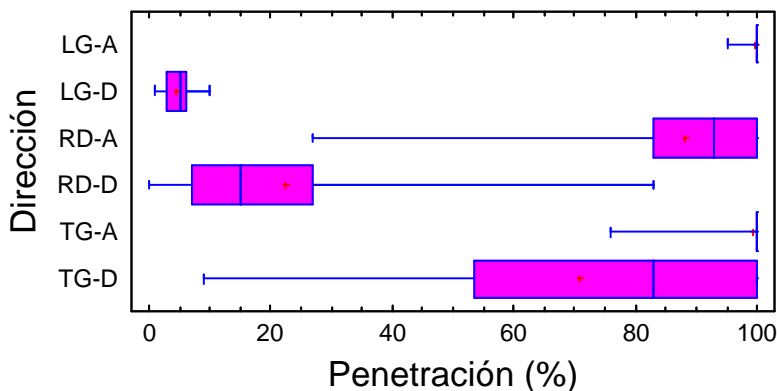
Penetración en altura 1

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	246447.0	5	49289.3	147.32	0.0000
Intra grupos	55872.6	167	334.567		
Total (Corr.)	302319.0	172			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Penetración medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%.

Penetración en altura 1

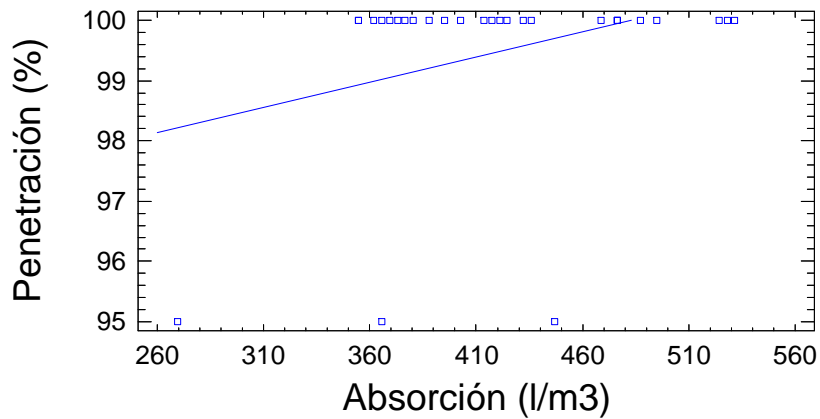


Madera de albura, sentido de impregnación longitudinal.

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 95.9703 + 0.00834584 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.10, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90%.

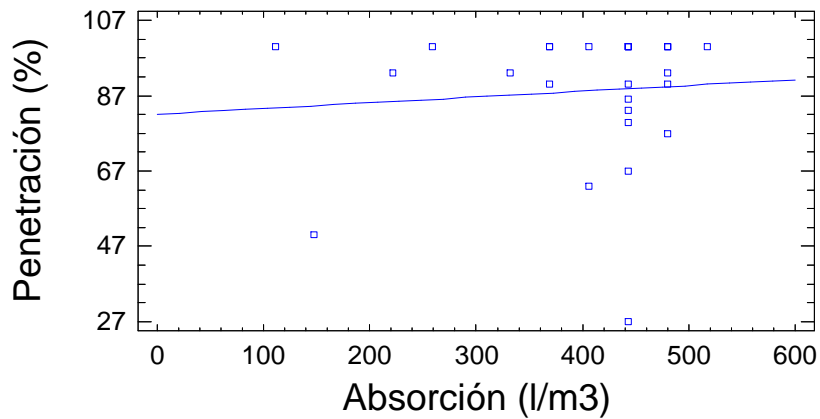
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 11.5% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.3, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 1.5.

Madera de albura sentido de impregnación radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 82.0929 + 0.0152959 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



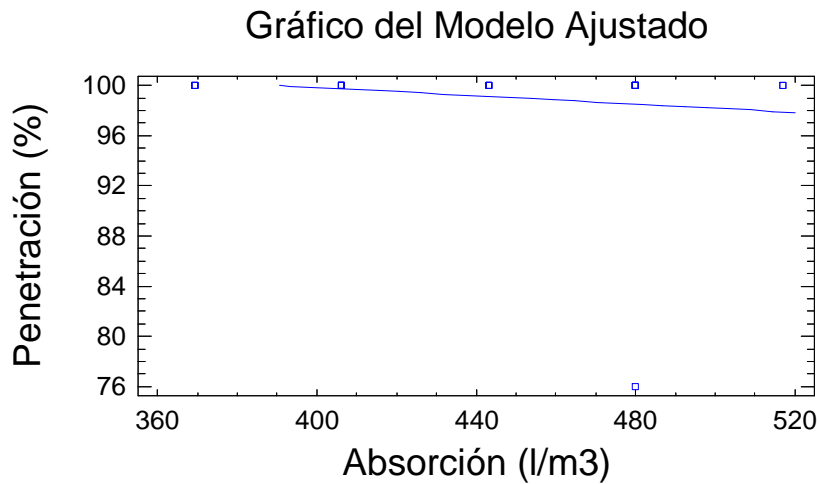
Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 0.7% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.08, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 18.2.

Madera de albura sentido de impregnación tangencial.

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 106.484 - 0.0165966 * \text{Absorción}$$



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

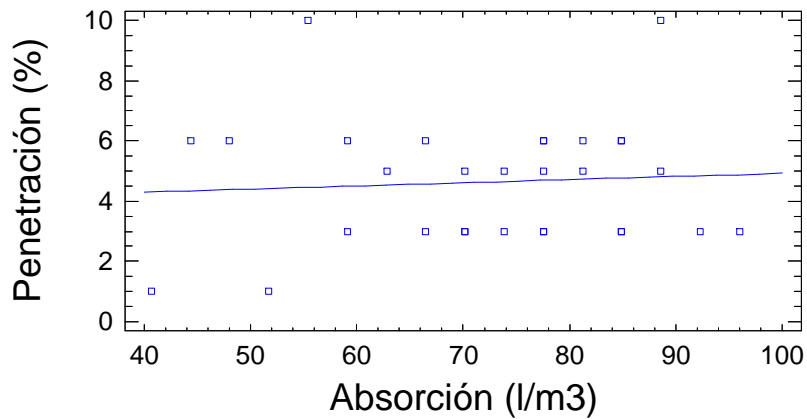
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 2.8% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a -0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 4.4.

Madera de duramen sentido de impregnación longitudinal

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 3.87279 + 0.0105262 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

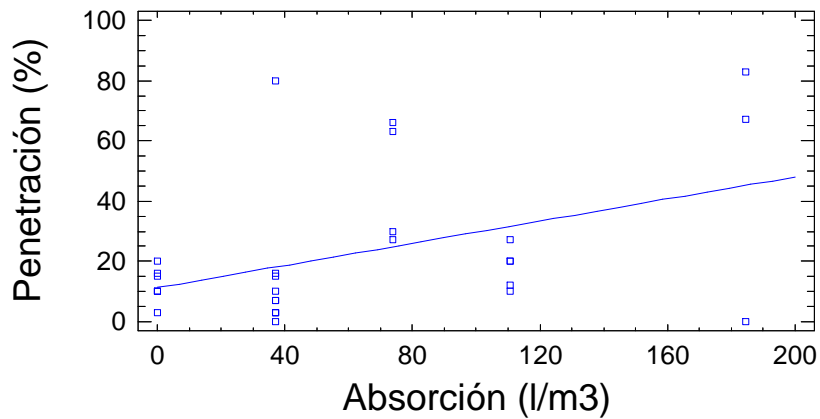
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 0.5% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.07, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 2.2.

Madera de duramen sentido de impregnación radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 11.2715 + 0.183996 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 95%.

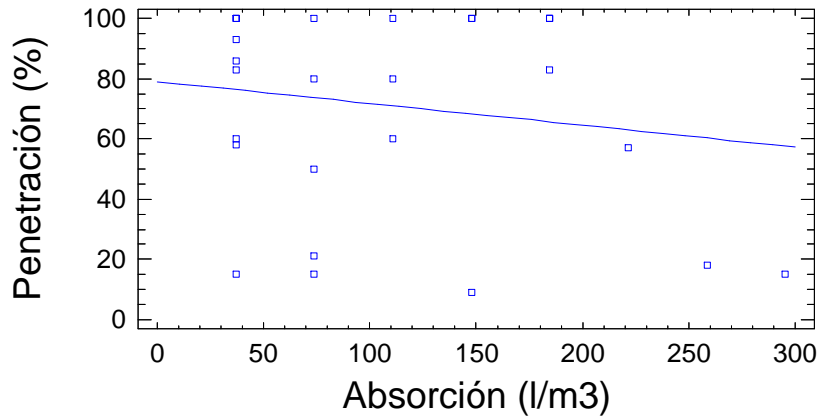
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 18.4% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.4, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 22.4.

Madera de duramen sentido de impregnación tangencial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 79.0395 - 0.0724595 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 2.7% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a -0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 33.5.

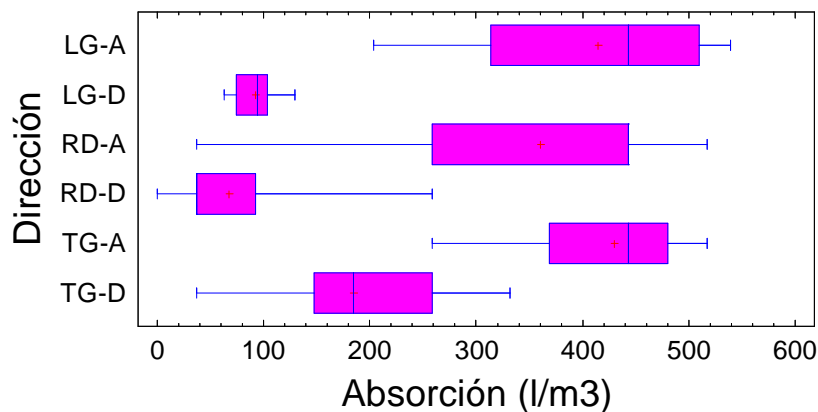
Absorción en altura 2

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	3.88742E6	5	777484.0	101.66	0.0000
Intra grupos	1.28482E6	168	7647.75		
Total (Corr.)	5.17224E6	173			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Absorción medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%.

Absorción en altura 1



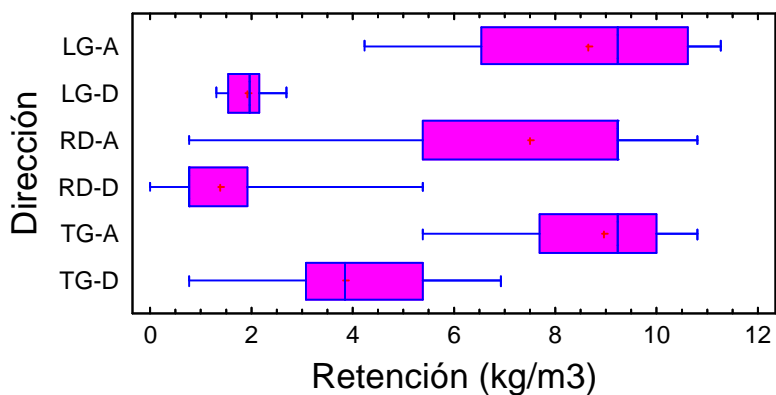
Retención en altura 2

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	1691.96	5	338.392	101.66	0.0000
Intra grupos	559.206	168	3.32861		
Total (Corr.)	2251.17	173			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Retención medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%

Retención en altura 2



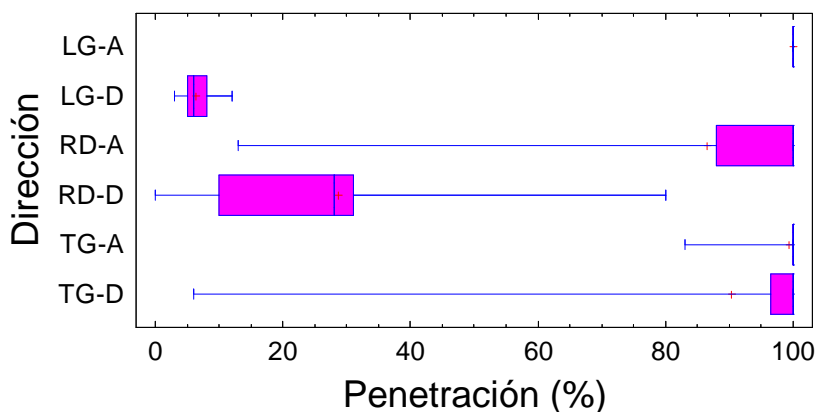
Penetración altura 2

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	238751.0	5	47750.2	180.05	0.0000
Intra grupos	43760.0	165	265.212		
Total (Corr.)	282511.0	170			

Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las Penetración medias de un nivel de Dirección a otro para un nivel de confianza del 95.0%.

Penetración en altura 2

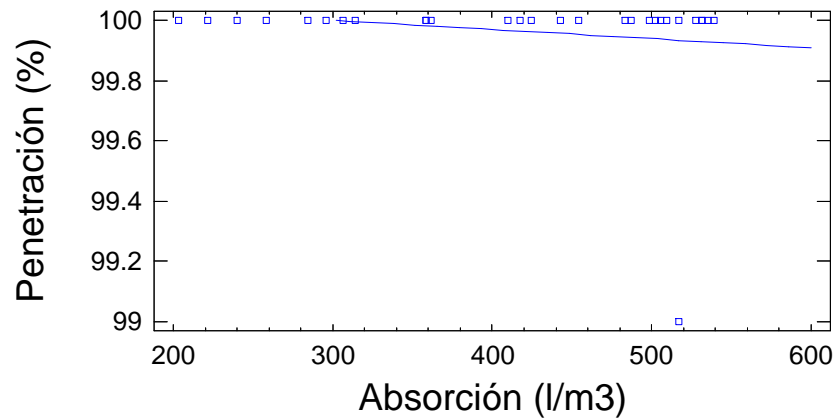


Madera de albura sentido de impregnación longitudinal

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 100.092 - 0.000304042 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

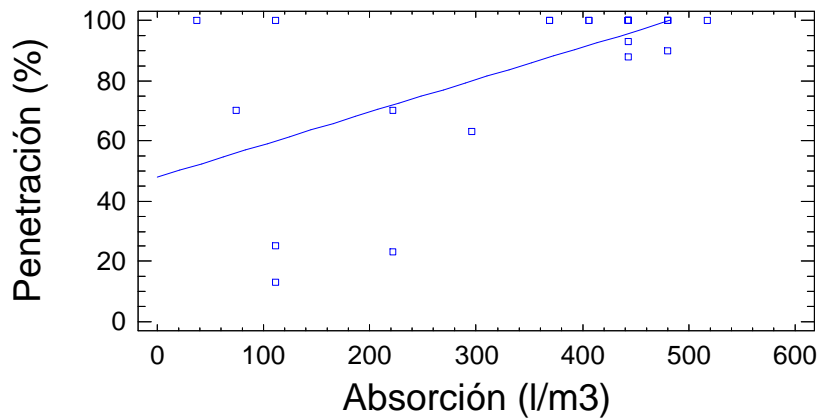
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 3.2% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a -0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 0.2.

Madera de albura sentido de impregnación radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 48.0352 + 0.107707 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 99%.

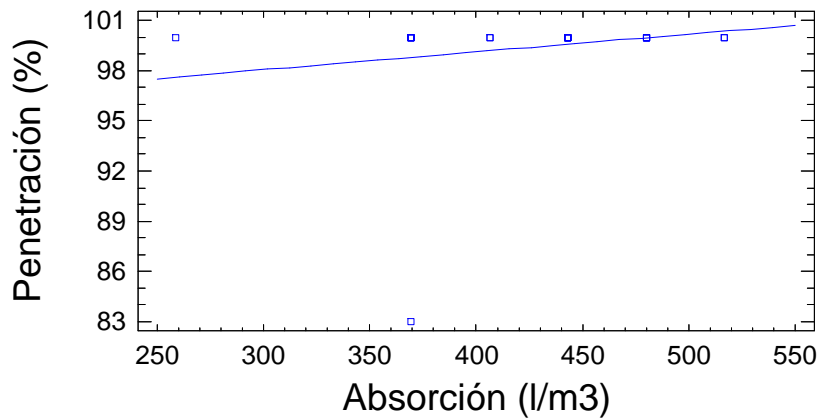
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 38% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.6, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 21.

Madera de albura sentido de impregnación tangencial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 94.8816 + 0.0105958 * \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

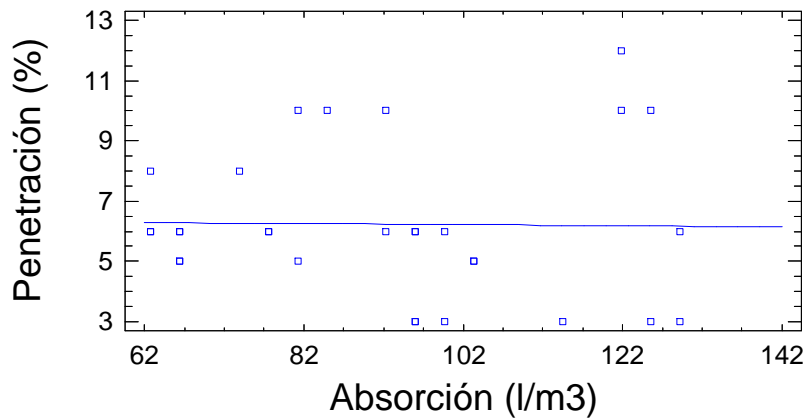
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 3.9% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 3.1.

Madera de duramen sentido de impregnación longitudinal

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 6.38587 - 0.00165015 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

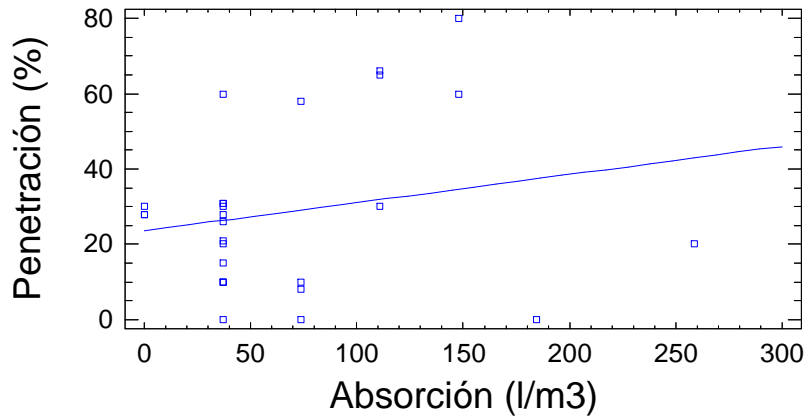
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 0.02% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a -0.01, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 2.5.

Madera de duramen sentido de impregnación radial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 23.5859 + 0.0748412 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.01, no existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 90% o superior.

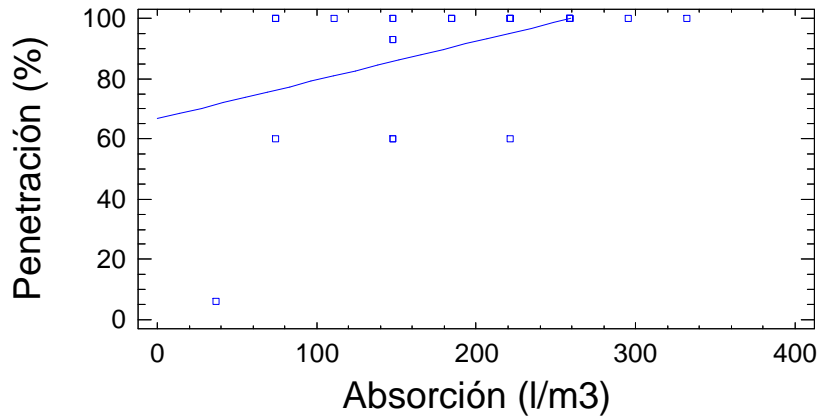
El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 4.1% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.2, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 22.2.

Madera de duramen sentido de impregnación tangencial

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Penetración} = 66.7217 + 0.128401 \cdot \text{Absorción}$$

Gráfico del Modelo Ajustado



Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.05, existe relación estadísticamente significativa entre Penetración y Absorción para un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 20.4% de la variabilidad en Penetración. El coeficiente de correlación es igual a 0.46, indicando una relación relativamente débil entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 19.8.