



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS
Y SUS BIOMATERIALES

EFEECTO DEL TRATAMIENTO DE INMERSIÓN
EN AGUA CALIENTE EN LA PERMEABILIDAD DE
LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

MARCELO ANDRÉS FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ

Prof. Guía: Sr. Alejandro Bozo González. Ingeniero Forestal, Universidad de Chile.
Magíster en Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Ph. D. en Ingeniería Civil,
Washington State University, USA.

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MADERAS
Y SUS BIOMATERIALES

EFEECTO DEL TRATAMIENTO DE INMERSIÓN
EN AGUA CALIENTE EN LA PERMEABILIDAD DE
LA MADERA DE *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero de la Madera

MARCELO ANDRÉS FERNÁNDEZ GUTIÉRREZ

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Alejandro Bozo González, Ph. D.	6,5	
Prof. Consejera Sra. Rose Marie Garay Moena	6,6	
Prof. Consejero Sr. René Carmona Cerda	6,0	

A mi familia, que ya vendrá un mañana mejor...

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer y dedicar esta memoria a mi familia, en especial a mis padres, quienes se esforzaron inmensamente por darles hasta al último de sus hijos una buena educación y un hermoso ejemplo de vida. A mis hermanos, en especial Patricio, por aconsejarme e incentivarne a sellar esta importantísima etapa.

A Dios por hacer todo esto posible y permitirme disfrutar de la vida que me ha dado tanto.

A mi profesor guía Alejandro Bozo por su apoyo y buena disposición para participar en esta investigación.

A mis profesores consejeros Rose Marie Garay y René Carmona por su colaboración con el estudio.

A la empresa CMPC Maderas, especialmente al Sr. José Pablo Jordán, quien fue el que transmitió a mi profesor colaborador Misael Gutiérrez la necesidad de realizar esta investigación y proporcionó la madera para efectuarla. A su vez agradezco al profesor Gutiérrez por darme a conocer este estudio como tema de memoria y guiarme en los inicios del proceso.

A mi profesor de laboratorio, “institución” y gran amigo Luis Frías (Q.E.P.D.) por acompañarme durante la mayor parte de mi vida universitaria compartiendo su experto conocimiento, sus sabios consejos, su excelente tino y su amistad sincera, y me enseñó con ello muchísimo más que teoría.

A los profesores Ricardo Silva y Aldo Cisternas por su desinteresada ayuda y buenos consejos siempre.

A mis compañeros y amigos de universidad por su cariño, comprensión y complicidad durante toda esta etapa hermosa y enriquecedora a más no poder. Siempre los llevaré en mi corazón.

A mis tíos Carlos Fernández y Carla Gárate por su ayuda en la correcta escritura de la memoria, y por su apoyo incondicional y excelente disposición en todo momento.

A Camila Pavez por el gran amor que me entrega y por haberme dado el impulso y la compañía que me faltaba para finalizar este trabajo.

¡Gracias a todos!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Características de la especie.....	2
1.2. Secado de la madera.....	2
1.2.1. Técnicas de Secado.....	3
1.3. Permeabilidad de la madera.....	3
1.3.1. Tratamientos que buscan aumentar la permeabilidad de la madera... 4	
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1. Materiales.....	6
2.1.1. Material experimental.....	6
2.1.2. Secado de la madera.....	6
2.2. Métodos.....	10
2.2.1. Preparación del material e inmersión de la madera.....	10
2.2.2. Secado de la madera.....	11
2.2.3. Elaboración de probetas.....	13
2.2.4. Determinación del coeficiente de permeabilidad gaseosa.....	14
2.2.5. Diseño experimental.....	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
3.1. Coeficiente de permeabilidad gaseosa (KG) del <i>Eucalyptus nitens</i>	18
3.2. Densidad básica (d ₀ ,g).....	27
4. CONCLUSIONES	31
5. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	33
6. BIBLIOGRAFÍA	34
7. APÉNDICE	36
8. ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro N°1 : Programa de secado artificial convencional utilizado	13
Cuadro N°2 : Promedios de Coeficiente de Permeabilidad gaseosa de <i>Eucalyptus nitens</i>	18
Cuadro N°3 : Estadísticas descriptivas para el Coeficiente de Permeabilidad Gaseosa	20
Cuadro N°4 : Análisis de Varianza para KG de madera con pretratamiento	22
Cuadro N°5 : Promedios de Densidad básica de <i>Eucalyptus nitens</i>	27
Cuadro N°6 : Estadísticas descriptivas para Densidad básica de <i>Eucalyptus nitens</i>	28
Cuadro N°7 : Determinación de Densidad básica	37
Cuadro N°8 : Determinación de KG madera testigo radial	38
Cuadro N°9 : Determinación de KG madera testigo tangencial	39
Cuadro N°10 : Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 8h	41
Cuadro N°11 : Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 16h	41
Cuadro N°12 : Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 24h	42
Cuadro N°13 : Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 8h	42
Cuadro N°14 : Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 16h	43
Cuadro N°15 : Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 24h	43
Cuadro N°16 : Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 8h	44
Cuadro N°17 : Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 16h	44
Cuadro N°18 : Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 24h	45
Cuadro N°19 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 50°C - 8h	45
Cuadro N°20 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 50°C - 16h	46
Cuadro N°21 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 50°C - 24h	46
Cuadro N°22 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 8h	47
Cuadro N°23 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 16h	47
Cuadro N°24 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 24h	48
Cuadro N°25 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 8h	48
Cuadro N°26 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 16h	49
Cuadro N°27 : Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 24	49
Cuadro N°28 : Resumen tratamientos inmersión	50
Cuadro N°29 : Comparación de medias "Tukey"	50
Cuadro N°30 : Prueba T con respecto a los valores testigo.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N°1 : Madera de <i>Eucalyptus nitens</i> proporcionada por CMPC Maderas.	6
Figura N°2 : Máquina trozadora.	7
Figura N°3 : Estufa eléctrica con termómetro.	7
Figura N°4 : Estanque de tratamiento de agua caliente.	8
Figura N°5 : Cámara de secado convencional.	8
Figura N°6 : Cepilladora.	9
Figura N°7 : Equipo medidor de Permeabilidad.	9
Figura N°8 : Cilindro contenedor y probetas.	9
Figura N°9 : Ejemplo de trozado. Tabla "6". Secciones "6A", "6B", "6C" y "6D".	10
Figura N°10 : Ejemplo de inmersión: secciones sumergidas a 90°C y extraídas de forma aleatoria a los tres diferentes tiempos.	11
Figura N°11 : Extracción de probetas para cálculo de CH inicial (verde).	11
Figura N°12 : Obtención de CH mediante el método de secado en estufa.	12
Figura N°13 : Sierra de Copa.	13
Figura N°14 : Ejemplo: dos probetas extraídas de la sección radial "1C".	13
Figura N°15 : Secuencia de posicionamiento de los elementos dentro de la cámara.	14
Figura N°16 : Elementos seleccionados para Fluómetro.	15
Figura N°17 : Resumen gráfico de la Metodología del estudio.	17
Figura N°18 : Imágenes de madera seca de Eucalipto nitens, con y sin pretratamiento.	20
Figura N°19 : Gráfica de Promedios de permeabilidad para madera con pretratamiento.	21
Figura N°20 : Gráfica de efectos principales para KG de madera con pretratamiento.	23
Figura N°21 : Gráfica de interacción para KG de madera con pretratamiento.	24
Figura N°22 : Gráfica de intervalos para las medias de KG de madera con pretratamiento.	25
Figura N°23 : Gráfica de efectos principales para d0,g de madera con pretratamiento.	29
Figura N°24 : Gráfica de interacción para d0,g de madera con pretratamiento.	30
Figura N°25 : Gráfica de residuos para KG de madera con pretratamiento.	54
Figura N°26 : Tabla de caudal gaseoso tubo R-6-15-A.	56
Figura N°27 : Tabla de caudal gaseoso tubo R-6-15-B	57

RESUMEN

El presente estudio, realizado en el Departamento de Ingeniería en Maderas y sus Biomateriales, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, tiene como principal objetivo determinar los coeficientes de permeabilidad gaseosa en madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden, secada artificialmente con y sin tratamiento previo de inmersión en agua caliente. Las variables consideradas son: tipo de corte, temperatura y tiempo de inmersión.

Esta investigación se fundamenta en la necesidad de mejorar los resultados obtenidos en el secado de la madera de esta especie, la que, a pesar de presentar una de las mayores tasas de crecimiento en Chile y significar una gran oportunidad de obtención de madera como tal, su uso comercial se centra en la producción de celulosa y astillas, a causa de los severos defectos originados en dicho proceso.

Debido a que la permeabilidad es uno de los factores determinantes del secado, y a que entre mayor sea ésta, teóricamente, mejores son los resultados, se cree que la inmersión en agua caliente, la cual se estaría postulando como posible solución, aumentaría los valores de esta variable.

La madera utilizada en el estudio proviene de la VIII Región de Chile, y es provista por la empresa CMPC Maderas, planta Bucalemu. En primera instancia es clasificada en corte radial y tangencial, luego destinada a diferentes tratamientos de inmersión, después secada y cepillada. Luego se extraen las probetas que se ensayan, individualmente, mediante un equipo de medición. Al ingresar estos datos a la fórmula de Ley de Darcy, se obtienen los coeficientes requeridos, que junto a los valores complementarios de densidad básica, son analizados estadísticamente.

Finalmente, se observa que sólo algunos tratamientos entregan mayores promedios de permeabilidad que en madera testigo. Sin embargo, se aprecian a simple vista evidentes mejoras en el secado de madera con pretratamiento. Además, se muestra que la permeabilidad es mayor en corte radial que en tangencial, contraponiéndose a estudios anteriores. Como dato complementario, coincidiendo con lo esperado, el material sumergido presenta una disminución significativa en la densidad, y el tratamiento en donde ésta resulta menor, la permeabilidad resulta mayor, correspondiendo a una temperatura de 50°C, durante 24 horas.

Palabras Clave: Coeficiente de permeabilidad, *Eucalyptus nitens*, inmersión en agua caliente, ley de Darcy, maceración.

ABSTRACT

The present study realized in the Wood and Biomaterials Engineering Department, Faculty of Forest Sciences and Nature Conservation, University of Chile, has the principal objective to determine the gas permeability coefficients of *Eucalyptus nitens* (Deane. Maiden) Maiden wood, dried artificially with and without previous hot water immersion pretreatment. The considered variables are: type of cut, temperature and immersion time.

This investigation is based on the need to improve the results obtained in the dried product of the wood of this species, in which, despite presenting one of the major rates of growth in Chile and therefore a great opportunity of obtaining wood as such, it's commercial use centers on the production of cellulose and splinters, because of the severe faults originating in the above process.

Due to the fact that the permeability is one of the determinant factors of the dried wood, and to that between major it is this one, theoretically, better they are the results, it is believed that the dip in warm water, which would be postulated as possible solution, would increase the values of this variable.

The wood used in the study comes from the 8th region of Chile, and there is provided by the company CMPC Maderas, Bucalemu plant. In the first instance it is classified under radial and tangential court, then destined for different treatments of dip, dried and brushed. Then the manometers are extracted and tested individually, by means of specialized measurement equipment. On entering the data into the formula specified by Darcy's Law and obtaining the required coefficients, these are calculated together with the basic density complementary values, and subjected to a statistical analysis.

Finally, be seen that only some treatments show higher than average permeability wooden witness. Nevertheless, be seen at a glance obvious improvements in wood drying pretreatment. In addition, it appears that the permeability is better in radial court than in tangential, contradicting to received wisdom and previous studies. As additional data, coinciding with the awaited thing, the plunged material shows a significant decrease in the density, and the treatment where this one is less, the permeability is greater, corresponding to a temperature of 50°C, for 24 hours.

Keywords: Darcy's law, *Eucalyptus nitens*, immersion in hot water, maceration, permeability coefficient.

1. INTRODUCCIÓN

El sector forestal en Chile juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo del país. Según la revista Lignum (Mayo, 2010) las exportaciones forestales en el año 2009 ascendieron a casi 4 mil 200 millones de dólares, cifra inferior en un 23,7% respecto del año 2008 (mayor valor de la historia) que concuerda con el descenso en 20% del total de las exportaciones debido a la crisis financiera mundial. De igual forma significaron un 7,8% de las divisas que ingresaron al país. Los tres principales productos exportados y su respectiva participación dentro de los envíos fueron la celulosa con 47,4%, papeles y cartones con 14,2% y productos manufacturados con un 13%, donde éstos últimos han tenido una baja importante desde el año 2005, cuando representaron el 27% del total. Sin perjuicio de esto, se genera gran optimismo para los tiempos venideros, debido a que en el año 2010 se notó una mejoría en los indicadores económicos nacionales, a pesar del pasado terremoto que azotó tan fuertemente la zona centro sur del país.

La mayoría de los productos forestales provienen del *Pinus radiata* D. Don y del *Eucalyptus globulus* Labill, primera y segunda especie más plantadas en Chile, respectivamente. Éstas son seguidas por el *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden, con alrededor de 160.000 hectáreas recientemente plantadas, distribuidas principalmente entre la VIII y X regiones, formando parte importante de las cientos de miles de hectáreas pobladas del género. Esta especie ha sido orientada, básicamente, a la producción de celulosa y de astillas exportables, gracias a que demostró un alto rendimiento pulpable y una buena calidad de fibra corta (Lignum, 2003). Sin desmedro de esto, desde hace un par de años se ha suscitado gran interés por su utilización tanto como madera aserrada, como en la fabricación de productos más elaborados, debido a su rápido crecimiento y sus buenas propiedades físicas y mecánicas (Lignum, 2003). Sin embargo, la especie presenta la desventaja de contar con un difícil secado, por lo que se debe seguir investigando y experimentando para así encontrar nuevas soluciones para la diversificación de sus usos y aplicaciones.

Es sabido que para obtener madera de calidad y productos de mayor valor agregado, un buen secado es fundamental dentro de los primeros procesos de transformación. Una de las variables que influyen en el secado es la especie, y dentro de este ítem se encuentra la densidad, estructura anatómica y permeabilidad, siendo esta última uno de los factores preponderantes y que, además, puede ser intervenido. Teóricamente, a mayor permeabilidad mejores resultados tendrá el secado, porque hay mayor libertad de movimiento de agua, el aire penetra de mejor forma, y así se arrastra humedad más fácilmente.

Debido a los insatisfactorios resultados obtenidos en el secado de madera de *E. nitens*, se está experimentando a nivel industrial con un pretratamiento de inmersión en agua caliente, que supuestamente mejoraría el secado de la madera al incrementar su permeabilidad, al poder extraer sus compuestos químicos hidrosolubles¹. A razón de que en Chile existe escasa información al respecto, nace un especial interés en desarrollar este estudio, el cual busca resolver este supuesto, y ante la confirmación, determinar qué condiciones de

temperatura y tiempo de inmersión son las más favorables. Además se abre paso a una nueva etapa de investigación, la cual es descubrir si el tratamiento permite obtener mejoras significativas en los resultados del secado, aminorando los tiempos y/o las fallas producidas por éste en la madera.

1.1. Características de la especie.

Según INFOR (2010), el *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden es conocido comúnmente en Chile como Eucalipto nitens, y en Australia como Shining gum, siendo originario en la parte sudeste de este país, específicamente en zonas montañosas de Victoria central y al este de Nueva Gales del Sur (30° a 38° de latitud Sur). Sus principales ventajas son la resistencia al frío -que permite su favorable plantación en el Sur de Chile- el rápido crecimiento volumétrico, entre 30 a 45 m³/ha/año, versus los 20 a 25 m³/ha/año del *Eucalyptus globulus*-, su aceptable densidad básica (comprendida entre los 490 y los 520 kg/m³), la extraordinaria adaptabilidad a distintas zonas geográficas, la buena respuesta al manejo, y que posee cualidades para diferentes usos y aplicaciones como pulpa y papel, madera aserrada, tableros, chapas, etc. Según Gutiérrez², su principal desventaja es que posee madera poco permeable, lo que la hace refractaria al secado, generando fallas como grietas superficiales e internas, colapso y deformaciones.

Actualmente es la especie forestal que crece más rápido en el país, con plantaciones en el presente de más de 160 mil hectáreas, y que posee un área potencial de plantación de 600 mil há. en total. Además entrega externalidades positivas, como su gran capacidad de absorción de carbono de la atmósfera, la recuperación de suelos degradados y la posibilidad de poblar terrenos que con otras especies difícilmente sería posible (INFOR, 2010).

1.2. Secado de la madera.

La madera es un material higroscópico, es decir, libera o absorbe humedad dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentre en un momento determinado. Por otro lado, es un material ortotrópico, es decir, presenta diferentes características físico-mecánicas en sus distintos ejes: longitudinal, radial y tangencial (Siau, 1971).

El secado de la madera se define como pérdida de humedad debido a condiciones ambientales propicias, naturales o artificiales, que obligan el movimiento de agua desde el interior hacia el exterior, y la posterior evaporación que se genera en la superficie. La rapidez del secado depende de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire que atraviesa transversalmente la superficie de la madera (Álvarez y Fernández-Golfin, 1992).

Existen otros factores que condicionan la forma en que el secado evoluciona, como las características de cada especie y, principalmente, su permeabilidad. Según la característica recién mencionada, se formará el perfil de distribución de humedad a través del espesor de la madera por unidad de longitud, fenómeno que recibe el nombre de “gradiente de humedad” (Gutiérrez, 1995).

Son varias las ventajas del secado, dentro de las cuales destaca una mayor estabilidad dimensional, el mejoramiento de la mayoría de las propiedades mecánicas (exceptuando flexión dinámica), la reducción de costos de transporte, la mayor eficiencia de adhesivos y recubrimientos, facilitar su impregnación, incrementar la resistencia al ataque de hongos e insectos, y mejorar la calidad superficial en procesos de elaboración.

1.2.1. Técnicas de Secado.

El secado de la madera es posible hacerlo de forma natural (“al aire”) o de forma artificial. El secado natural es la manera más simple de reducir la humedad, al aprovechar las condiciones ambientales naturales, alcanzando el contenido de humedad de equilibrio. Sus resultados están estrechamente relacionados con el clima, la técnica de empalillado y la distribución del patio de secado que se utilice. Su principal ventaja es que es un método de costo reducido, especial para microempresarios, donde resulta ser una alternativa interesante el aplicarlo como presecado, o al no contar con instalaciones de secado artificial suficientes. Sin embargo, su principal desventaja es que los tiempos que emplea pueden ser extensos, lo que se traduce en una importante inmovilización de capital (Gutiérrez, 1995).

Por otro lado, el secado artificial, como su nombre lo indica, se produce por condiciones ambientales artificiales que se definen para la adecuada evolución de pérdida de humedad en la madera, que son dadas básicamente por el control de las variables temperatura, humedad relativa y velocidad del aire, y es el tipo de secado más utilizado a nivel industrial. Dentro del secado artificial encontramos los siguientes tipos: convencional, de alta temperatura, por vacío, por aire forzado, por deshumidificación y por campo eléctrico de alta frecuencia (Gutiérrez, 1995).

El secado convencional, es uno de los métodos más empleados, y se desarrolla en un ambiente cerrado que adquiere un clima cada vez más cálido y seco. No tiene limitaciones con respecto a la especie a secar y posee gran flexibilidad para las variables temperatura y humedad relativa (estas son algunas de las razones del porqué este estudio aplicará dicho proceso). Las cámaras que se utilizan pueden ser construidas con fundaciones, pilares, losa, y cubierta de ladrillos, o pueden ser construidas con estructura metálica de aluminio. La primera construcción mencionada significa un costo 20% menor, pero presenta la desventaja de no ser posible su traslado (Gutiérrez, 1995).

1.3. Permeabilidad de la madera.

La permeabilidad de la madera está relacionada con el tamaño y la cantidad de poros y puntuaciones dentro de su anatomía, y la real comunicación entre los elementos anatómicos. Además, determina el perfil de gradiente de humedad interno de la madera.

En maderas más permeables el movimiento de agua desde el interior hacia la superficie es mayor, y el gradiente toma una forma parabólica, como es el caso del Pino radiata. En este caso la principal variable que influye en el secado es la transferencia de calor desde el ambiente hacia la madera, condicionada por la velocidad del aire y la depresión del bulbo húmedo. Por otra parte, en maderas poco permeables, como es el caso del Eucalipto nitens,

una de las desventajas es que la evaporación de agua desde la superficie de la madera es mayor que el flujo de agua libre, lo que implica que la humedad externa baje significativamente en relación a la interna, donde el movimiento del agua puede llegar a ser bloqueado por la aspiración de las puntuaciones. Aquí el principal responsable del movimiento de agua bajo el punto de saturación de las fibras es el movimiento de difusión (Siau, 1971).

En la madera verde, la permeabilidad es el principal factor que determina el tiempo de secado, influenciado por la presencia de burbujas de aire dentro de las células, que explican el principio físico del mecanismo de movimiento por tensión capilar. En el caso de que sea una madera permeable que presenta burbujas, los meniscos en contacto con el aire se sitúan más superficialmente. Por el contrario, si es una madera impermeable y carece de burbujas, la línea de contacto se ubica más profundamente, existiendo altas probabilidades de que las células colapsen (Álvarez y Fernández-Golfin, 1992).

1.3.1. Tratamientos que buscan aumentar la permeabilidad de la madera.

Existen tratamientos que persiguen incrementar la permeabilidad de la madera con el fin de obtener mejores resultados en el proceso de secado, reduciendo las fallas producidas en la madera y/o acortando los tiempos de dicha etapa. Estas técnicas buscan modificar la estructura anatómica o arrastrar extraíbles de la madera, facilitando así el movimiento de fluido por una menor oposición.

Los extraíbles son componentes orgánicos no estructurales de baja masa molar, que se encuentran en la madera en diferentes porcentajes. Los solventes que comúnmente se utilizan para la extracción de estas sustancias son: el agua fría y caliente, etanol-tolueno y soda. El agua fría extrae desde los lúmenes sales orgánicas, azúcares, gomas, galactanos y partes de taninos y de pigmentos. El agua caliente actúa de igual manera, pero con mayor poder de extracción y, además, hidroliza algunos polisacáridos. El etanol-tolueno disuelve ceras, grasas, resinas, aceites, colorantes orgánicos, taninos, gomas, y algunas sustancias también solubles en agua. La soda (hidróxido de sodio al 1%) extrae poliosas, resinas, y productos de degradación de celulosa y lignina (Díaz-Vaz, 2003).

Uno de los tratamientos más utilizados para aumentar la permeabilidad de la madera es el vaporizado. Se tiene un ejemplo en el estudio de Campbell (1961), en el que el tiempo de secado del *Eucalyptus obliqua* se reduce en un 25% con un vaporizado de dos horas a una temperatura de 100 °C, aplicado a madera verde de una pulgada de espesor, produciendo un leve oscurecimiento en su superficie.

En relación al método de inmersión en agua, se sabe que ya elimina compuestos hidrosolubles a baja temperatura, pero su poder extractivo aumenta considerablemente si ésta se eleva, siendo así un tratamiento más eficiente (técnica empleada en este estudio). Se han hecho escasos trabajos anteriores de inmersión en agua caliente, donde se demuestra un mejoramiento de la tasa y calidad de secado, pero las condiciones óptimas de la maceración, en cuanto a temperatura y tiempo, varían de acuerdo a la especie. Por ejemplo, en un estudio hecho por Bascour (1995), el mejor pretratamiento para la madera de Coigüe resultó ser el de 45°C durante 24h.

Un estudio de Cooper y Barham (1975) muestra otro procedimiento que consiste en el congelamiento de la madera, pero hasta el presente no ha demostrado efectos significativos. No obstante, al combinarlo con el sumergimiento en agua fría, presenta mejores resultados relativos a la permeabilidad y defectos en el secado.

Existe, además, un tratamiento de compresión de la madera mediante rodillos, el cual mejora la permeabilidad y los tratamientos de preservación por la partidura que provoca en las puntuaciones, pero sólo en algunas especies tiene un efecto significativo sobre la tasa de secado (Cech y Goulet, 1968).

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Estudiar el efecto del tratamiento de inmersión en agua caliente sobre el coeficiente de permeabilidad gaseosa de la madera de *Eucalyptus nitens*, a diferentes temperaturas y tiempos.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar los coeficientes de permeabilidad gaseosa en madera tangencial y radial de *Eucalyptus nitens*, secada a 12% de CH con y sin tratamiento previo de inmersión en agua caliente, a distintas combinaciones de temperatura y tiempo.
- Comparar los coeficientes de permeabilidad gaseosa obtenidos con y sin tratamiento de inmersión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales.

2.1.1. Material experimental.

Se utilizó madera de Eucalipto nitens (Figura N°1), proporcionada por la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones S.A. (CMPC), división CMPC Maderas, planta Bucalemu. La madera fue recepcionada recientemente aserrada, con un alto porcentaje de contenido de humedad (%CH); cuarenta tablas de aproximadamente 2m de largo y 22mm de espesor, las que fueron extraídas desde la segunda troza en altura (entre 22 y 24cm de diámetro) de diferentes árboles jóvenes, razón por la cual no se consideró la cantidad de duramen contenido en la madera, suponiendo su escasa presencia en este material, y con tal de no agregar aún más variables en el estudio. La madera también fue caracterizada en cuanto a densidad y contenido de humedad.

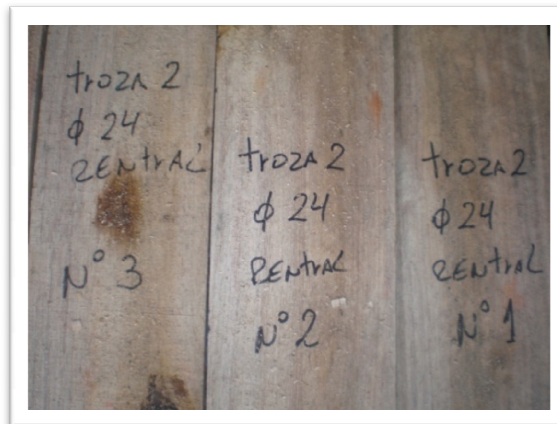


Figura N°1.- Madera de *Eucalyptus nitens* proporcionada por CMPC Maderas.

2.1.2. Equipos, instrumentos y otros materiales.

Todo el equipamiento que se empleó pertenece al Departamento de Ingeniería en Madera y sus Biomateriales, el cual se detalla a continuación:

- Máquina trozadora marca Wadkin Bursgreen, modelo Panelmaster (Figura N°2).
- Desecador.
- Pie de metro, con precisión de 0,1 mm.
- Balanza digital marca Ohaus, modelo Adventurer. Con capacidad de 1500g y precisión de $\pm 0,01$ g.
- Estufa eléctrica marca Thelco, modelo PS 18, con precisión de ± 1 °C (Figura N°3).
- Termómetro de mercurio.
- Estanque de tratamiento de agua caliente (Figura N°4), con regulación de temperatura mediante un termostato externo.
- Cámara de secado convencional (Figura N°5).

- Balanza de brazo marca Ohaus, con precisión de $\pm 1g$.
- Máquina combinada o universal marca SCM, división Samco, modelo Mini Max CU 300, con una potencia de 4Hp (Figura N° 6).
- Sierra de Copa marca Peerless Power Tool, modelo PD-16, con una potencia de 1Hp y 1430rpm.
- Compresor de Aire marca Indura, modelo Vento 2000, de 24lt de volumen y con una presión máxima de 8bar, equivalentes a 116PSI.
- Equipo medidor de Permeabilidad marca Prolabo (Figura N°7 y N°8).



Figura N°2.- Máquina trozadora.



Figura N°3.- Estufa eléctrica con termómetro.



Figura N°4.- Estanque de tratamiento de agua caliente.



Figura N°5.- Cámara de secado convencional.



Figura N°6.- Máquina combinada o universal.



Figura N°7.- Equipo medidor de Permeabilidad.

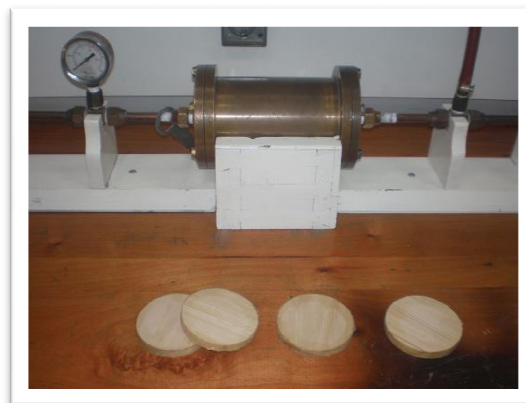


Figura N°8.- Cilindro contenedor y probetas.

2.2. Métodos.

Inicialmente se escogieron las tablas que se encontraran en mejores condiciones (libres de defectos y con un tipo de corte más definido), fueron enumeradas marcándolas con crayón de cera, luego fueron clasificadas según el tipo de corte que mostraran en mayor proporción (mayor a un 50%, debido a que las tablas presentaron, mayormente, cortes mixtos), después fueron trozadas y, finalmente, las secciones fueron destinadas a distintos tratamientos de inmersión en agua caliente con diferentes temperaturas y tiempos, en todas sus combinaciones. Después se secó artificialmente, del modo convencional, en dos cargas; la primera correspondió a la madera testigo y la segunda a la madera pretratada. Una vez seca, la madera se cepilló y se extrajeron probetas circulares para los ensayos de permeabilidad gaseosa. Con estos datos, mediante la fórmula de Ley de Darcy, se obtuvieron los coeficientes de permeabilidad, que junto a los valores de densidad básica obtenidos en forma complementaria, fueron analizados estadísticamente. Por último, se compararon los resultados de la madera con tratamientos de inmersión con los de la madera testigo.

2.2.1. Preparación del material e inmersión de la madera.

Treinta y seis tablas fueron escogidas, de 2m de largo y 22mm de espesor aproximado, se clasificaron en dieciocho tangenciales y dieciocho radiales. Cada tabla se trozó en cuatro partes de 50cm de largo y se marcó con crayón cada una de estas 144 secciones con la siguiente nomenclatura: número de tabla original (“1”, “2”, “3”, etc.), seguido de la letra de la sección (desde la “A” hasta la “D” correlativamente), como lo muestra la Figura N°9. Esto permitió que cada trozo de una misma tabla tuviera un diferente destino de tratamiento, pero un mismo origen, disminuyendo así la influencia de la variabilidad propia de la madera sobre los resultados, ya que si se destina toda una tabla a un mismo tratamiento, posiblemente los resultados fueran similares entre todas las probetas extraídas de ella, e influenciadas por alguna característica especial de esa pieza en particular.



Figura N°9.- Ejemplo de trozado. Tabla “6”. Secciones “6A”, “6B”, “6C” y “6D”.

Se eligió al azar una de las cuatro secciones de cada tabla para determinar el coeficiente de permeabilidad en condiciones normales (madera sin pretratamiento de inmersión en agua), grupo testigo que conformó la primera carga de secado (dieciocho secciones radiales y dieciocho secciones tangenciales). Las demás secciones se destinaron a los distintos tratamientos de inmersión en agua caliente, de modo que los tres trozos restantes de cada tabla, radial o tangencial, se sumergieron a sólo una de las tres distintas temperaturas (50, 70 y 90°C), pero extrayendo aleatoriamente del estanque una pieza por cada uno de los tres

diferentes tiempos (8, 16 y 24h), asegurando así que desde una misma tabla se hicieran diferentes mediciones más adelante. En síntesis, se sumergieron 18 secciones de cada corte por cada una de las tres temperaturas, y se extrajeron al azar seis trozos por cada corte a cada uno de los tres diferentes tiempos (Figura N°10). Una vez finalizados los tratamientos de inmersión, todas estas secciones se sometieron a una segunda carga de secado, la que se conformó sólo con madera tratada.



Figura N°10.- Ejemplo de inmersión: secciones sumergidas a 90°C y extraídas de forma aleatoria a los tres diferentes tiempos.

2.2.2. Secado de la madera.

Se desarrollaron dos cargas de secado convencional. Como ya se ha mencionado, la primera carga correspondió a la madera en condiciones normales o testigo, y la segunda carga, a madera con tratamiento de inmersión en agua caliente.

Para un control continuo del Contenido de Humedad (CH) durante el secado de ambas cargas se seleccionó al azar un número significativo de secciones centrales “B” o “C” (ya que no se deben utilizar los extremos “A” y “D” de las tablas debido a que presentan menor humedad), y con ellas se aplicó el método estipulado en la Norma Chilena NCh 176/1.Of84, Madera - Parte 1: Determinación de Humedad. Para ello, primero se determinó el CH inicial (verde) de la madera, extrayendo una probeta de cada extremo de las secciones centrales, en donde la parte media restante recibió el nombre de “muestra”, la cual se pesó durante todo el proceso (Figura N°11)

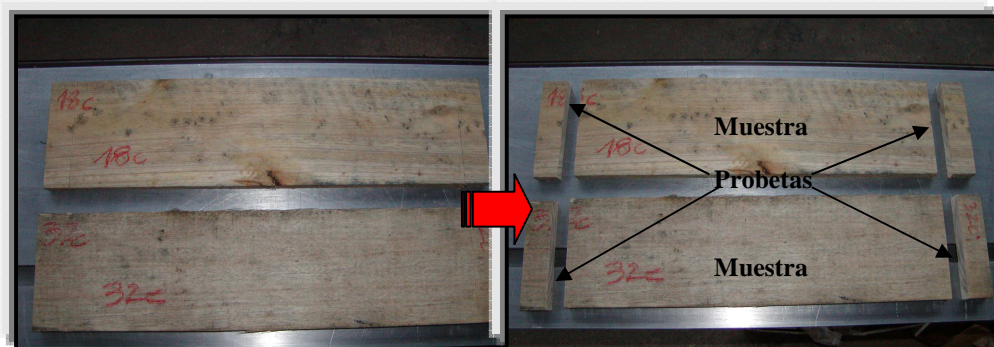


Figura N°11.- Extracción de probetas para cálculo de CH inicial (verde).

Las muestras y las probetas se identificaron y se pesaron en la balanza digital utilizando desecador en todo momento, para reducir la variación de peso. Al mismo tiempo se determinó el volumen verde de las probetas. Después se ingresaron a la estufa eléctrica (Figura N°12), durante dos días, hasta llegar al estado anhidro (0% de CH) y luego se pesaron nuevamente, obteniendo así los datos de Peso seco. Paralelamente se pudo determinar la densidad básica de la madera, calculando el cociente entre peso seco y volumen verde, respectivamente, según lo dispuesto en la Norma Chilena: NCh 176/2.Of86, Madera-Parte 2: Determinación de Densidad, con el propósito de comparar los valores en condiciones normales y con tratamiento, y observar si efectivamente hubo una pérdida significativa de masa.



Figura N° 12.- Obtención de CH mediante el método de secado en estufa.

Posteriormente, mediante una operación que toma los datos de pesos verdes y secos, se determinó el CH inicial de cada una de las probetas. Después se promediaron los dos resultados de cada sección y este valor se asumió como CH inicial para la muestra. Con este antecedente, mediante la misma fórmula, se pudo estimar el peso que tendrían las muestras en estado anhidro. Con este valor estimado, y al pesar las muestras a diario en la balanza de brazos, fue posible determinar el CH promedio estimado de toda la carga durante todo el proceso.

El Programa de secado convencional utilizado en ambas cargas se caracterizó por ser lento y suave, es decir, con temperaturas bajas y cambios leves entre una etapa y otra, y con amplio vaporizado inicial y final para aminorar las fallas que se pudieran generar. Cada carga demoró cerca de 500h (21 días aprox.) en alcanzar un promedio cercano a 12% de CH, donde en cada día se pesaron las muestras, se determinó el CH, se invirtió el sentido de giro de los ventiladores, se controló que la generación de humedad fuera la apropiada, que las ventilas estuvieran en la apertura correcta, que el empallado se posicionara en una misma línea vertical, etcétera, y su desarrollo se muestra en la tabla correspondiente al Cuadro N°1.

Cuadro N°1.- Programa de secado artificial convencional utilizado.

Etapa	Tiempo	CH (%)	T° BS (°C)	T° BH (°C)	HR (%)	CH eq (%)	Ventilas
1	8 hr.	Inicial	45	45	100	27	cerradas
2	-	Sobre 30	45	44	94	22	semi abiertas
3	-	30 - 20	50	48	89	18	semi abiertas
4	-	20 - 12	50	44	70	11,5	semi abiertas
5	6 hr.	12 - final	50	46	79	14	cerradas

2.2.3. Elaboración de Probetas.

Posterior al secado se procedió a cepillar las caras de todas las secciones simétricamente, hasta alcanzar 10mm de espesor, manteniendo la identificación de cada una de ellas. Es así como mediante el uso de la sierra de copa (Figura N°13) se pudieron extraer dos probetas circulares de 10mm de espesor y de 8,5cm de diámetro desde cada sección, como se grafica en el ejemplo de la Figura N°14, desde zonas libres de defectos que fueran las más representativas del tipo de corte según correspondiera.

Después las probetas se sellaron por su contorno con silicona industrial, con el fin de impermeabilizar la periferia y forzar a que el aire traspasara transversalmente por el área libre de la probeta, evitando así alteraciones en los valores obtenidos. Una vez finalizada la preparación de las probetas, se continuó con el proceso más demandante de tiempo de toda la fase experimental, que fue ensayar las 288 probetas en el equipo de medición de permeabilidad gaseosa.



Figura N°13.- Sierra de Copa.

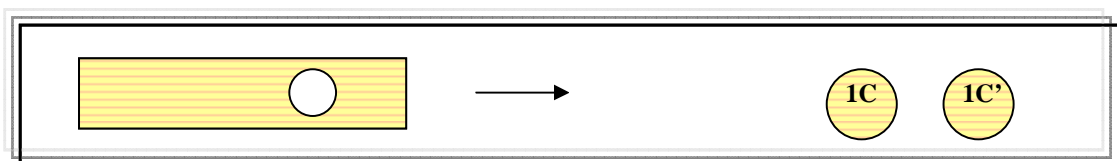


Figura N°14.- Ejemplo: dos probetas extraídas de la sección radial “1C”.

2.2.4. Determinación del coeficiente de permeabilidad gaseosa.

Con el fin de determinar el coeficiente de permeabilidad gaseosa (KG) se procedió con la siguiente secuencia:

- a) Se ubicó dentro del cilindro de ensayo (o cámara de permeabilidad) la probeta previamente impermeabilizada por su contorno, de manera tal que el flujo de aire la traspase transversalmente por cualquiera de sus dos caras, donde al corresponder a un corte radial, el flujo fuera en dirección tangencial, y viceversa. También se posicionaron a su vez el resorte y todos los elementos de bronce y sellos de goma en el mismo orden que se muestra en el cuadro (Figura N°15). Luego se prosiguió a cerrar la cámara firmemente para evitar la salida de flujo de aire.



Figura N° 15.- Secuencia de posicionamiento de los elementos dentro de la cámara.

- b) Se ubicó la cámara en el circuito de aire conectando a la entrada y salida de flujo, apretando firmemente los pernos correspondientes.
- c) Se abrió el paso del aire proveniente del compresor y se fijó la presión de entrada al valor único de 0,5 [kg/cm²], gracias a un manómetro Bourdon.
- d) Se reguló el flujo de aire en el fluómetro ubicado al final del circuito de aire, fijando el valor en la decena más cercana (70, 80, 90 ó 100mm), que va íntimamente relacionado con la presión de salida. El tubo utilizado en el fluómetro fue el R-6-15-B, con esfera de zafiro correspondiente a aquél tubo (Figura N°16). Con este dato, mediante la tabla de caudal gaseoso correspondiente (Figura N°27), se obtuvo el valor de caudal en NI/h (nanolitro/hora), que luego se debió convertir a [cm³/seg], para poder ingresarlo en la fórmula de Ley de Darcy y obtener el KG.
- e) Se leyó la presión de salida en el manómetro de columna, en este caso el de mercurio que era el más apropiado por razones de flujo.
- f) Con estos datos obtenidos se procedió a utilizar la fórmula de determinación del coeficiente de permeabilidad gaseosa.



Figura N°16.- Elementos seleccionados para Fluómetro.

Los valores de coeficiente de permeabilidad gaseosa se determinaron mediante la ecuación de la Ley de Darcys:

$$K_g = \frac{Q * L * P}{A * \Delta P * P'}$$

- ,donde
- Kg: Coeficiente de Permeabilidad con gas, [cm³(aire)] / [cm x atm seg]
 - Q: Caudal de gas que pasa a través de la probeta [cm³ (aire)] / [seg]
 - L: Longitud de la probeta en la dirección del flujo (cte=1cm)
 - A: Área libre de la probeta perpendicular al flujo (cte=28,27cm²)
(este valor corresponde al círculo central libre de la probeta, de 6 cm de diámetro, que queda como área descubierta dentro del cilindro)
 - ΔP: Diferencia entre presión de salida y presión de entrada (atm)
 - P: Presión en el sector donde está ubicado el fluómetro (cte=1atm)
 - P': Promedio entre la presión de entrada y de salida (atm)

2.2.5. Diseño experimental.

Una vez obtenidos los coeficientes de permeabilidad gaseosa se procedió a analizar estadísticamente los datos, mediante el programa computacional “Minitab 15”. Se desarrolló un diseño trifactorial de 2 x 3 x 3, donde, respectivamente, los tres factores son: tipo de corte o dirección del flujo, temperatura y tiempo de inmersión, con doce repeticiones por cada una de las dieciocho diferentes combinaciones posibles, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo general:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

siendo para cada Y_{ijk}

i = el i -ésimo nivel del factor corte (α). $i = 1, 2$.

j = el j -ésimo nivel del factor temperatura (β). $j = 1, 2, 3$.

k = el k -ésimo nivel del factor tiempo (γ). $k = 1, 2, 3$.

$N = 1, \dots, 12$ (repeticiones o réplicas)

,donde

Y : Coeficiente de permeabilidad gaseosa de la madera de *Eucalyptus nitens*.

μ : Media.

α : Factor corte de la madera (dos niveles: α_1 =radial y α_2 =tangencial).

β : Factor temperatura (tres niveles: $\beta_1=50$ [°C], $\beta_2=70$ [°C] y $\beta_3=90$ [°C]).

γ : Factor tiempo (tres niveles: $\gamma_1=8$ [h], $\gamma_2=16$ [h] y $\gamma_3=24$ [h]).

() : Interacción entre factores.

ε : Error experimental.

Adicionalmente se aplicó un modelo idéntico para analizar la Densidad básica del Eucalipto nitens, factor que complementa el estudio, donde cambia la variable respuesta a “Densidad básica de la madera de *Eucalyptus nitens*”, manteniendo intactas las características del modelo.

Además se realizaron pruebas de normalidad y análisis de varianza (ANDEVA ó ANOVA) para ambas variables respuestas: Coeficiente de permeabilidad gaseosa (KG) y Densidad básica (d0,g), con la finalidad de analizar el efecto de cada uno de los factores y sus interacciones sobre ellas, comparando al mismo tiempo con los valores testigos, y con el fin de determinar en que casos hay variaciones estadísticamente significativas.

Las hipótesis nulas (H_0) del análisis dicen que las variables respuestas “Coeficiente de permeabilidad gaseosa” y “Densidad básica” no difieren significativamente con respecto a algún factor o interacción en estudio. En cambio las hipótesis alternas (H_1) sugieren que las variables respuestas difieren significativamente en relación a algún factor o interacción, con un 95% de confiabilidad.

También se realizó un análisis de comparación de medias “Tukey” y Prueba “T” para los valores de permeabilidad gaseosa, principal variable respuesta del estudio.

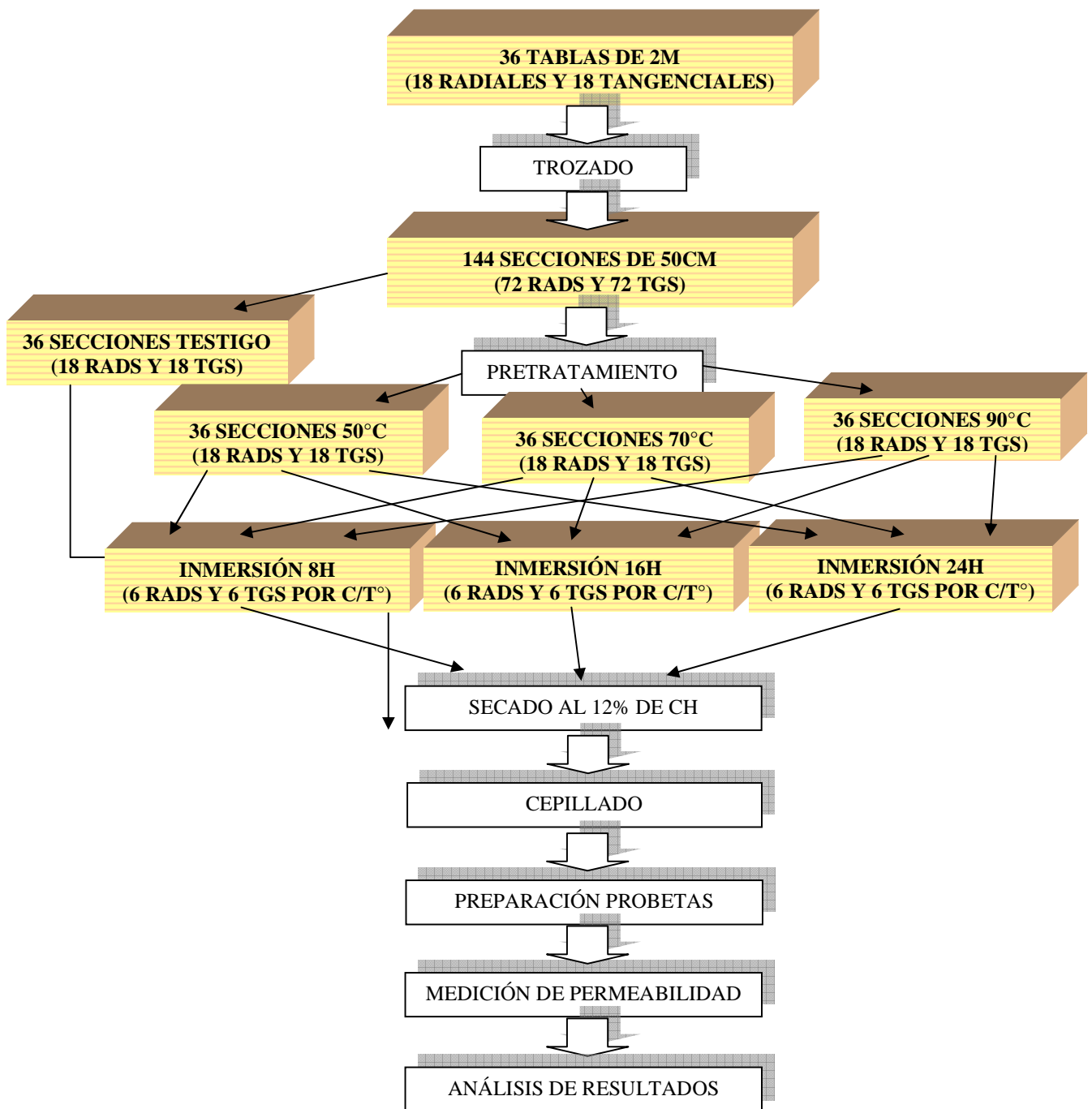


Figura N° 17.- Resumen gráfico de la Metodología del estudio

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Coeficiente de permeabilidad gaseosa (KG) del *Eucalyptus nitens*.

En el Cuadro N°2 se presentan los promedios de los coeficientes de permeabilidad gaseosa (KG) del *Eucalyptus nitens* obtenidos en las 36 repeticiones por cada tipo de corte en madera testigo (sin tratamiento) y en las 12 observaciones para cada una de las 18 combinaciones de pretratamiento de inmersión en agua caliente.

Cuadro N°2.- Promedios de Coeficiente de Permeabilidad gaseosa de *Eucalyptus nitens*.

PROMEDIOS COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD [CM³ (AIRE)]/[CM X ATM SEG]				
Madera Testigo		Corte Radial	Corte Tangencial	Promedio
		1,1813	1,1462	1,1638
Madera con pretratamiento de inmersión en agua caliente				
Temperatura [°C]	Tiempo [h]	Corte Radial	Corte Tangencial	Promedio
50	8	1,2121	1,1703	1,1912
	16	1,1143	1,3352	1,2248
	24	1,3230	0,7464	1,0347
	Promedio	1,2165	1,0840	1,1502
70	8	1,3229	0,9742	1,1486
	16	1,0182	0,9494	0,9838
	24	1,3268	1,1086	1,2177
	Promedio	1,2226	1,0107	1,1167
90	8	1,0266	0,8844	0,9555
	16	1,1649	1,0626	1,1138
	24	1,0944	0,9594	1,0269
	Promedio	1,0953	0,9688	1,0321
Promedio Total Pretratamiento		1,1781	1,0212	1,0997

En este cuadro, primeramente, se puede apreciar que no existe una tendencia muy clara sobre los resultados. Además se puede desprender de él que los promedios de KG obtenidos en los tratamientos son similares a los de los testigos, e incluso el promedio total de KG de los pretratamientos (1,0997 [cm³(aire)]/[cm x atm seg]) fue menor que el promedio total de KG testigo (1,1638 [cm³(aire)]/[cm x atm seg]), contrario a lo esperado. Esto permitiría inferir, a priori, que la inmersión en agua caliente no necesariamente incrementaría la permeabilidad de la madera, a lo menos, no en cualquier condición.

Además, se puede observar que los promedios de corte radial fueron mayores que los de corte tangencial, sin embargo, en madera testigo fueron casi idénticos. Esto difiere de los antecedentes bibliográficos históricos que postulan que el coeficiente de permeabilidad gaseosa es mayor en un corte tangencial (flujo en sentido radial) que en un corte radial (flujo en sentido tangencial). No obstante, coincide con el “Estudio de la permeabilidad de

la *Sequoia sempervirens* D. Don cultivada en Chile” (Espinosa, 2004), en el cual el KG de madera con corte radial resultó ser mayor, aún cuando fuera una diferencia insignificante, y también coincide con el estudio “Influencia de dos sales preservantes en la permeabilidad de madera de Pino insigne” (Toledo, 1995), que determinó que el coeficiente KG del Pino radiata en madera con corte radial es de $0,57[cm^3(aire)]/[cm \times atm \text{ seg}]$ y en madera con corte tangencial es de $0,12 \cdot 10^{-3} [cm^3(aire)]/[cm \times atm \text{ seg}]$. Esta discordancia pudiera ser explicada por una razón anatómica de la madera, ya que al ser especies de rápido crecimiento en Chile, generan una gran amplitud en los anillos, lo que se traduce en una gran proporción de madera de células de paredes delgadas, con grandes y numerosas puntuaciones que facilitarían el traspaso de fluido a través de un corte radial, es decir, flujo en sentido tangencial. Esta hipótesis se fortalece al observar el trabajo similar hecho en Coigüe por Bascour el año 1995, que entrega una mayor valor de permeabilidad en el flujo radial (corte tangencial) al ser una especie de crecimiento lento y de madera de alta densidad, lo que si coincide con la bibliografía disponible.

Con el argumento de que este estudio nació por la necesidad creciente de obtener mejores resultados en el secado del Eucalipto nitens, y a que normalmente no se hace diferencia entre corte radial y tangencial, la inmersión que arrojó el promedio máximo entre los dos tipos de corte fue 16h a 50°C, el cual es $1,2248[cm^3(aire)]/[cm \times atm \text{ seg}]$, que forma parte de la temperatura que obtuvo el mayor promedio general: $1,1502[cm^3(aire)]/[cm \times atm \text{ seg}]$. Aún así, fueron valores muy cercanos a los testigos.

Afortunadamente, de forma complementaria, se hizo un análisis visual de la madera al salir de las dos cargas de secado convencional realizadas, respaldado por un pequeño registro fotográfico, y al menos se puede comentar que hay una mejora significativa en los resultados de secado de la madera que recibió pretratamiento de inmersión en agua caliente (madera que se obscureció, superficialmente, con mayor intensidad a medida que la temperatura y tiempo aumentaron), con resultados similares en todas las combinaciones de temperatura y tiempo, en cuanto a la reducción de colapso, grietas y alabeos (Figura N°18). Como antecedente extra, se aprecia claramente que el corte radial se comportó ostensiblemente mejor que el corte tangencial en todos los escenarios, lo que se condice con los resultados obtenidos a nivel industrial (comunicación personal, Jordán, 2009) y con el trabajo similar de Coigüe hecho en este departamento (Bascour, 1995).

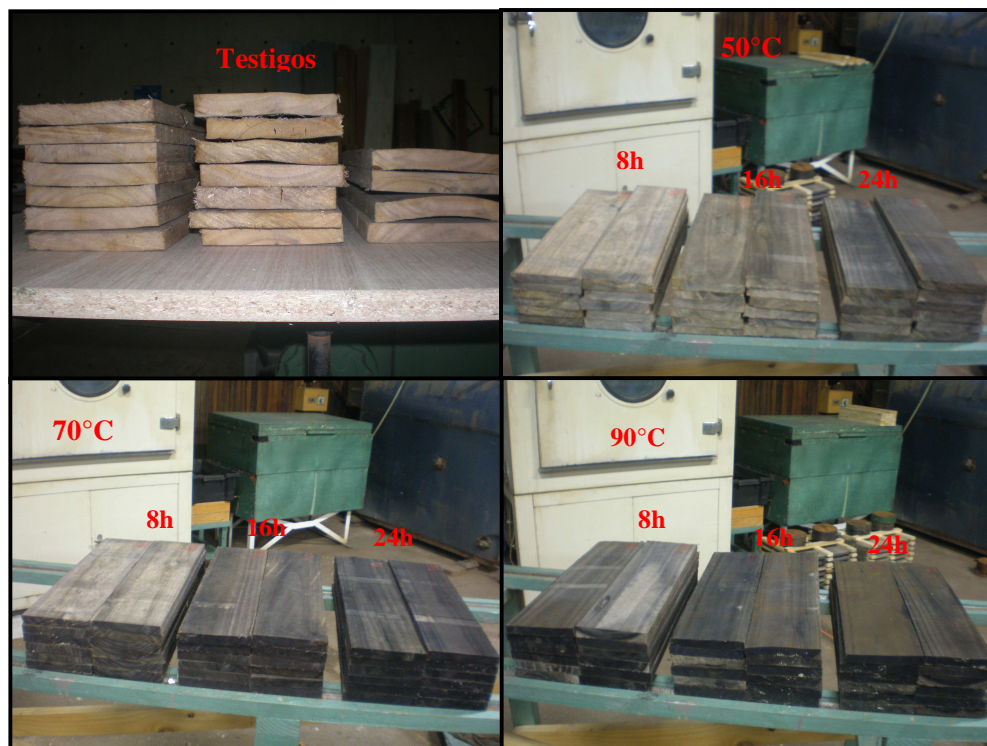


Figura N°18.- Imágenes de madera seca de Eucalipto nitens, con y sin pretratamiento.

En el Cuadro N°3 se muestran algunas de las estadísticas descriptivas básicas de todos los datos obtenidos en los ensayos de KG, diferenciando la madera testigo de la madera tratada, y los distintos niveles por sí solos dentro de cada factor considerado, entregando nociones acerca de los límites y parámetros en los que nos encontramos, permitiendo profundizar y saber que tan fidedigno resulta ser el análisis en estudio.

Cuadro N°3.- Estadísticas descriptivas para el Coeficiente de Permeabilidad gaseosa.

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE TODOS LOS DATOS DE KG [CM ³ (AIRE)]/[CM X ATM SEG]							
			Prom.	Desv. Estand.	Mín.	Máx.	n
Testigo	Corte	Radial	1,1813	0,1230	1,0048	1,4341	36
		Tangencial	1,1462	0,2314	0,7416	1,3873	36
Inmersión	Corte	Radial	1,1781	0,1544	0,8690	1,4121	108
		Tangencial	1,0212	0,2219	0,7425	1,4264	108
	Temperatura	50°C	1,1502	0,2139	0,7425	1,3834	72
		70°C	1,1167	0,2158	0,7468	1,4264	72
		90°C	1,0321	0,1702	0,7476	1,3954	72
	Tiempo	8h	1,0984	0,1756	0,7468	1,3680	72
		16h	1,1074	0,1986	0,7480	1,3954	72
		24h	1,0931	0,2431	0,7425	1,4264	72
Total			1,1125	0,2027	0,7416	1,4341	288

En el cuadro se aprecia que la desviación estándar total significa un 18,2% del promedio total de los datos. También se puede notar que el valor mínimo obtenido dentro de las pruebas fue $0,7416[\text{cm}^3(\text{aire})]/[\text{cm} \times \text{atm} \text{ seg}]$ y corresponde a una probeta testigo de corte tangencial. Dentro de los tratamientos el valor mínimo fue $0,7425 [\text{cm}^3(\text{aire})]/[\text{cm} \times \text{atm} \text{ seg}]$, que corresponde a corte tangencial, temperatura 50°C y tiempo 24h, pero no coincidió plenamente con los promedios mínimos. El valor máximo obtenido dentro de todos los ensayos fue $1,4341[\text{cm}^3(\text{aire})]/[\text{cm} \times \text{atm} \text{ seg}]$, casi el doble del valor mínimo, y pertenece a una probeta testigo de corte radial. En el plano de los tratamientos, el dato mayor obtenido fue $1,4264 [\text{cm}^3(\text{aire})]/[\text{cm} \times \text{atm} \text{ seg}]$, que corresponde a la combinación: tangencial – 70°C – 24h, que asimismo no coincidió con los promedios más altos.

A continuación se muestra una gráfica de los promedios de permeabilidad obtenidos en madera tratada, donde se pueden apreciar las diferencias entre cada una de las combinaciones, notándose que no existe una clara tendencia a medida que los factores varían (Figura N°19). Lo que si se aprecia claramente son los promedios de KG que superan notablemente a los valores testigo ya observados, que corresponden a madera de corte radial tratada a 50°C durante 24h, a 70°C durante 8h y 24h, y a madera de corte tangencial tratada a 50°C durante 16h.

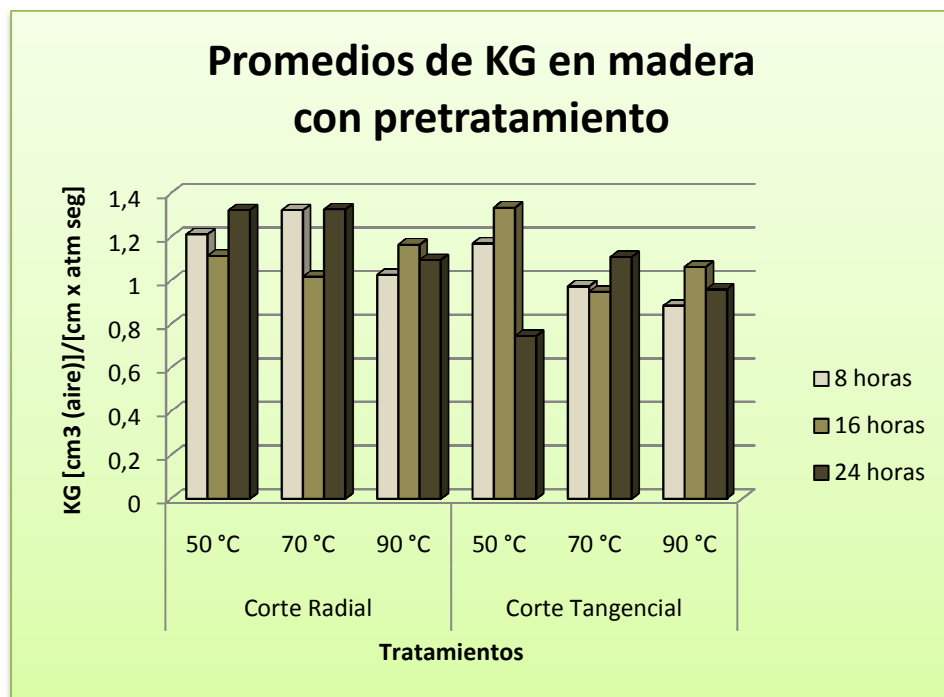


Figura N°19.- Gráfica de Promedios de Permeabilidad en madera con pretratamiento.

En el análisis de varianza (ANDEVA), que se muestra en el Cuadro N°4, se considera un nivel de error del 5%, lo que significa que si el “p valor” es menor que 0,05 se puede rechazar la hipótesis nula, la cual es que el Coeficiente de permeabilidad gaseosa de la madera pretratada de Eucalipto nitens no difiere significativamente con respecto a tal fuente (variable o interacción entre variables). Es así como se puede concluir del análisis, con un

95% de confianza, que sólo el efecto principal “Tiempo” y la interacción “Corte*Temperatura” no influyen significativamente sobre KG, y de igual manera, que todos las demás fuentes si influyen significativamente sobre los datos, es decir, que a medida que varían sus niveles, también varía KG, aunque sea de manera algo confusa.

Cuadro N°4.- Análisis de Varianza para KG de madera con pretratamiento.

ANDEVA: KG VS. CORTE, TEMPERATURA Y TIEMPO.					
Factor	Tipo	Niveles	Valores		
Corte	fijo	2	Radial	Tangencial	-
Temperatura [°C]	fijo	3	50	70	90
Tiempo [h]	fijo	3	8	16	24
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Corte	1	1,3305	1,3305	75,45	0,000
Temperatura	2	0,5336	0,2668	15,13	0,000
Tiempo	2	0,0076	0,0038	0,21	0,807
Corte*Temperatura	2	0,0818	0,0409	2,32	0,101
Corte*Tiempo	2	0,9713	0,4857	27,54	0,000
Temperatura*Tiempo	4	1,4810	0,3703	21,00	0,000
Corte*Temperatura*Tiempo	4	1,2517	0,3129	17,45	0,000
Error	198	3,4913	0,0176		
Total	215	9,1489			

Luego se hizo un análisis de residuos para el modelo trifactorial considerando todas las interacciones y se demuestra en él la normalidad de los datos a través del histograma y gráfica de probabilidad normal, con el apego de los valores a la recta en ésta última. Además existió una correcta tendencia de la media en torno a la nulidad, o sea, los residuos giran en torno a cero. También se demuestra una varianza constante de los datos a través de las observaciones (Apéndice N°1).

A continuación (Figura N°20) se observa la gráfica de los efectos principales de cada factor por sí solo sobre el KG en los pretratamientos, donde se muestra la media de cada nivel dentro de cada una de las tres variables independientes.

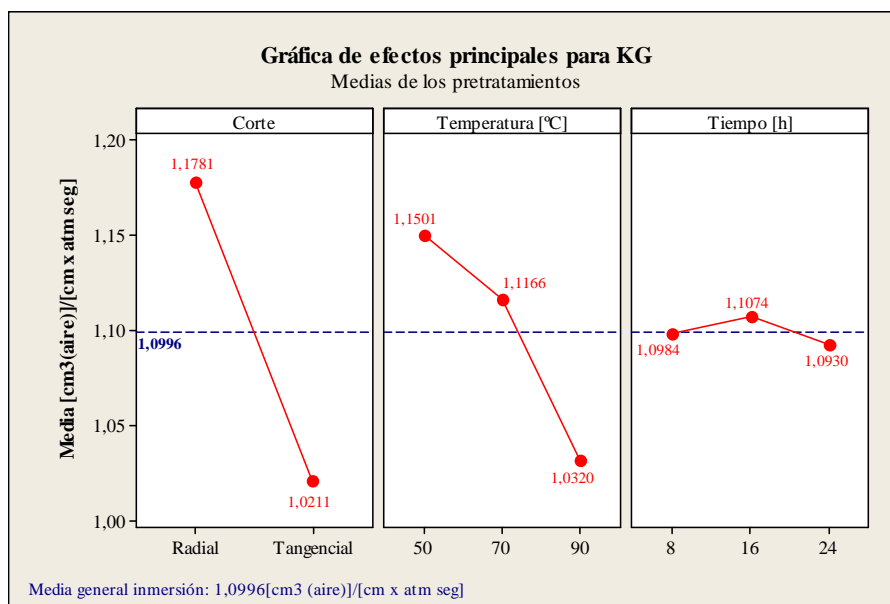


Figura N°20.- Gráfica de efectos principales para KG de madera con pretratamiento.

Los promedios de KG obtenidos en madera con corte radial y tangencial inmersionada fueron 1,1781 y 1,0211[$cm^3(aire)/[cm \times atm \text{ seg}]$] respectivamente, y significó la mayor diferencia dentro de los factores en estudio. La permeabilidad de la madera de corte radial (flujo tangencial) resultó ser mayor que la de corte tangencial (flujo radial), tal como ocurrió en madera testigo, con un valor bastante similar; en cambio el promedio de KG en madera tangencial baja considerablemente, lo que permite inferir que este tipo de madera pareciera que se tornaría menos permeable. Sin embargo no se debe perder de vista que estamos dentro de un rango muy pequeño.

En cuanto a la temperatura, se observa que a medida que fue mayor, el resultado de KG fue menor, muy contrario a lo esperado, mostrando una cierta tendencia y linealidad. A los 50, 70 y 90°C se obtuvieron datos promedios de 1,1501; 1,1166 y 1,0320[$cm^3(aire)/[cm \times atm \text{ seg}]$], respectivamente.

Con respecto al tiempo de pretratamiento se observa un fenómeno interesante: no hubo mayor diferencia entre los promedios obtenidos de KG sumergiendo a 8, 16 o 24h, hecho que se condice con el ANDEVA anterior, el cual dice que el tiempo no influye por sí sólo dentro de los datos, no obstante, si lo hace al interactuar con las demás variables. El promedio mayor se observa a las 16h de inmersión, y es 1,1074[$cm^3(aire)/[cm \times atm \text{ seg}]$]. No obstante fue muy similar al promedio de KG 1,0984[$cm^3(aire)/[cm \times atm \text{ seg}]$] que se obtuvo en 8h, lo que quizá sea importante al momento de decidir que pretratamiento aplicar a futuro, al evaluar si realmente amerita ganar esa pequeña diferencia en permeabilidad versus el gasto de energía y tiempo que significa sumergir el doble de tiempo. En 24h se obtuvo el menor valor promedio de KG 1,0930[$cm^3(aire)/[cm \times atm \text{ seg}]$], lo que echa a bajo la idea más lógica que se pudiera pensar, la cual es que siempre se obtendrían mejores resultados a medida que el tiempo de tratamiento aumenta. En este caso no es así, donde en definitiva no hay mayor cambio entre los tres tiempos analizados.

A continuación, en la Figura N°21, se muestran tres paneles de interacciones para KG de madera pretratada entre dos factores a la vez, utilizando las medias de cada nivel dentro de ellos, que ratifican lo enseñado en el ANDEVA anteriormente.

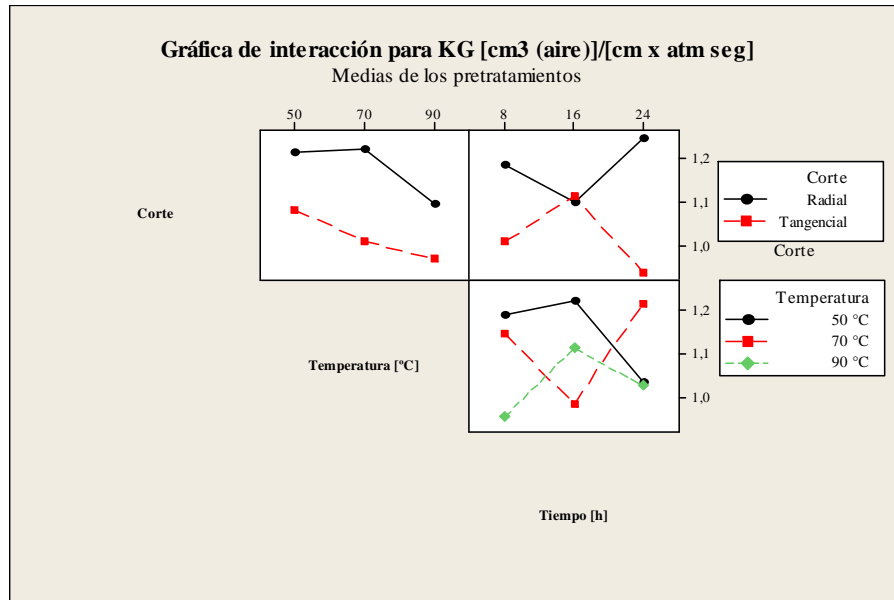


Figura N°21.- Gráfica de interacción para KG de madera con pretratamiento.

En el primer panel, de interacción entre Corte y Temperatura, se observa claramente que la conexión de las medias no se intersectan entre corte radial y tangencial, es decir, la influencia de la interacción entre ellos no fue significativa porque las distintas combinaciones provocan un efecto similar en todos los datos. En el corte radial se observan mayores medias, con un leve ascenso en los 70°C, como ya ha sido previamente comentado, y en el corte tangencial se aprecian menores medias, con un descenso casi lineal a medida que la temperatura aumenta.

En el segundo panel se muestra una pequeña interacción entre Corte y Tiempo, donde las medias se intersectan levemente en el nivel 16h, en el cual el corte radial muestra su valor más bajo y el corte tangencial su valor más alto. Además, en cada tiempo se provocan efectos opuestos sobre la permeabilidad de ambos cortes.

En el panel inferior se aprecia la interacción entre Temperatura y Tiempo, donde se observa la mayor influencia de las interacciones, en el que a 50 y 90°C existe un ascenso en 16h y un descenso en 24h, incluso con el valor mínimo de 50°C, pero a los 70°C sucede lo contrario, donde existe una baja importante a las 16h, y un alza igual de significativa en 24h, llegando a ser el valor máximo de las tres temperaturas. Además, en el nivel 8h, mientras las temperaturas 50 y 70°C muestran medias similares, en los 90°C se observa su media mínima, muy por debajo de las otras temperaturas.

En la gráfica de efectos principales (Figura N° 20) se observó que el tiempo por sí solo no influyó mayormente sobre la permeabilidad, al mostrar medias similares de KG en todos sus niveles. Sin perjuicio de ello, se acaba de ver en la gráfica de interacción para KG

(Figura N° 21), que el tiempo si tiene gran influencia de interacciones al ser combinado con las variables “corte” y “temperatura”.

También se hizo una gráfica de intervalos de confianza para la media de cada una de las combinaciones de inmersión, con 95% de confiabilidad (Figura N°22). En ella se observa que algunas medias de madera radial y tangencial coinciden dentro del mismo tratamiento y otras se escapan bastante. En el caso de los intervalos de las inmersiones a 50°C durante 8 horas, a 70°C 16 horas y a 90°C durante 16 y 24 horas, las medias pueden coincidir perfectamente entre madera radial y tangencial, es decir, los intervalos de los dos cortes están relativamente dentro de la misma zona en cada combinación indicada. Mientras que en el caso de los 50°C durante 16h, 70°C durante 24h y 90°C durante 8 horas los intervalos de ambos cortes están relativamente cerca, en otras palabras, las medias no deberían ser muy diferentes entre madera radial y tangencial en estas condiciones. En cambio, en el caso del tratamiento de 24 horas a 50°C y 8 horas a 70°C, los intervalos están totalmente alejados entre la madera de un corte y otro, lo que se traduce en que posiblemente se den valores de permeabilidad muy diferentes entre madera radial y tangencial.

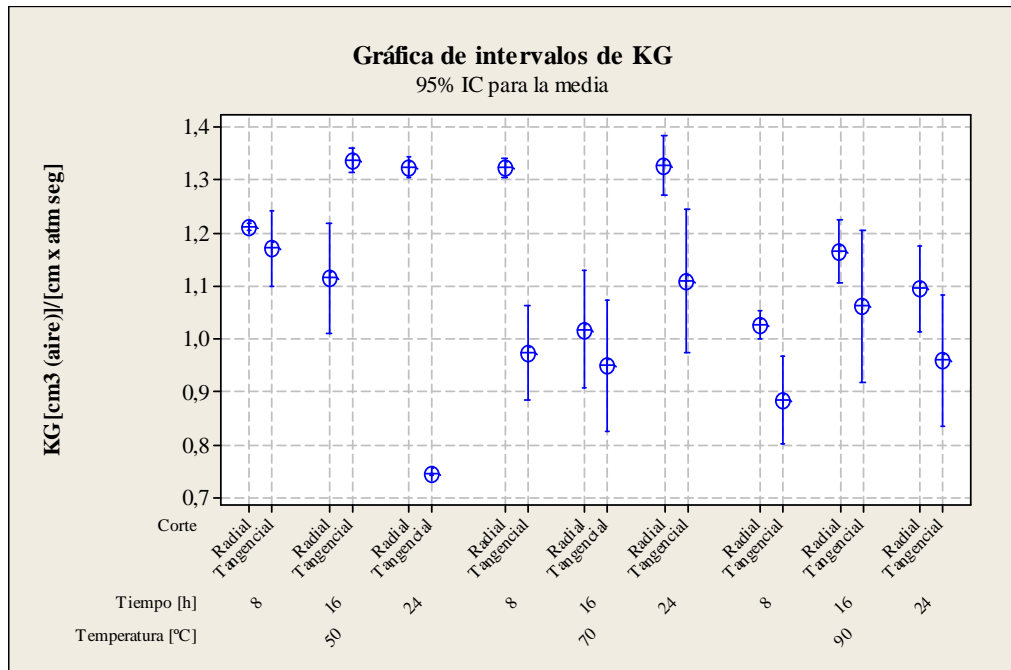


Figura N°22.- Gráfica de intervalos para las medias de KG de madera con pretratamiento.

Adicionalmente se hizo una prueba T para comparar las medias de la inmersión que entregó el mayor promedio general de KG y los testigos (sin considerar la diferencia de corte), la cual fue a 50°C durante 16h, y se confirma que no hay un aumento significativo. Sin perjuicio de ello, se hizo una prueba T para muestras independientes por cada una de las combinaciones con respecto a los testigos y se pudo ratificar que existen diferencias significativas al considerar todas las variables. En cuanto a corte radial los tratamientos que tienen diferencias considerables y positivas con respecto a los valores testigo son a 50°C durante 24 horas y a 70°C durante 8 y 24 horas. Con respecto al corte tangencial, la única

inmersión con diferencia positiva fue a 50°C durante 16h. Estos resultados coinciden perfectamente con las barras que se observaron más elevadas en el gráfico de promedios de KG (Figura N°19). Todas las demás combinaciones entregaron resultados de permeabilidad similares o menores que los testigos (Apéndice N°2). Esto sugiere que a pesar de que no haya una diferencia significativa entre las inmersiones en general con el antecedente testigo, al hacer distinción de corte si la hay, lo que invita a replantearse que la diferenciación de tipos de corte a nivel industrial, si bien no es necesaria normalmente, quizá para casos como este si lo sea, sumado a la determinación del tratamiento correcto para cada caso. También se debe considerar que aunque se vio en un comienzo que la variable “Tiempo” y la interacción “Corte*Temperatura” no influían significativamente sobre los datos por sí solas, si lo hacen cuando interactúan con las demás variables en estudio.

Se realizó un análisis de comparación de medias *Tukey* (Apéndice N°3) que permitió diferenciar cada uno de los 18 diferentes pretratamientos con cada uno de los otros. En él se logró detectar, con 95% de confiabilidad, que existen diferencias marcadas entre los tratamientos, y que las inmersiones que mostraron mayores valores de permeabilidad, no presentando mayor diferencia entre una y otra, en corte radial fueron a 50°C durante 24 horas y a 70°C durante 8h y 24h, coincidiendo con la prueba T, pero considerando también el tratamiento a 90°C durante 16h, que muestra una permeabilidad ligeramente más baja. En corte tangencial también se llegó al mismo resultado de la prueba T, que arrojó la inmersión a 50°C durante 16 horas, pero incluyendo además el tratamiento a 50°C durante 8h, que muestra un KG levemente menor.

Para finalizar con el análisis de los coeficientes de permeabilidad de madera de Eucalipto nitens pretratada con agua caliente, se puede comentar que los resultados obtenidos coincidieron casi perfectamente con los de Coigüe en el estudio hecho por Bascour el año 1995, en el que el pretratamiento que entregó el mayor valor de permeabilidad fue el de inmersión a 45°C durante 24h, tomando en cuenta que los dos niveles que consideró de cada factor fueron 45°C y 75°C, y 24h y 48h respectivamente.

3.2. Densidad básica (d₀,g)

Los promedios de Densidad básica, tanto en madera testigo como en madera pretratada de *Eucalyptus nitens*, se muestran a continuación en el Cuadro N°5.

Cuadro N°5.- Promedios de Densidad básica de *Eucalyptus nitens*.

PROMEDIOS DE DENSIDAD BÁSICA [KG/M3]				
Madera Testigo		Corte Radial	Corte Tangencial	Promedio
		530,50	499,90	515,20
Madera con pretratamiento de inmersión en agua caliente				
Temperatura [°C]	Tiempo [h]	Corte Radial	Corte Tangencial	Promedio
50	8	454,36	498,23	476,29
	16	492,12	427,65	459,88
	24	433,80	466,42	450,11
	Promedio	460,09	464,10	462,10
70	8	491,20	503,60	497,40
	16	437,40	504,45	470,93
	24	456,58	531,65	494,12
	Promedio	461,73	513,23	487,48
90	8	560,05	493,37	526,71
	16	573,62	502,03	537,82
	24	470,43	440,60	455,52
	Promedio	534,70	478,67	506,68
Promedio Total Pretratamiento		485,51	485,33	485,42

Cómo se puede apreciar, el promedio total de densidad básica en madera testigo fue mayor que el de madera pretratada (515,20[kg/m³] v/s 485,42[kg/m³]), lo que permite deducir que ocurriría una pérdida de masa con la inmersión en agua caliente, supuestamente debido a la pérdida de compuestos extraíbles de la madera, solubles en agua. La disminución media significó un 5,8% de pérdida de masa, lo que discrepa con Mariani et al, que al analizar la composición química del Eucalipto nitens (2005), llegan a un valor promedio de sólo 4,43% de extraíbles en total.

Se puede notar una tendencia clara en la menor disminución de los promedios de densidad básica a medida que la temperatura se incrementa con respecto a los valores testigo, en otras palabras, mientras la temperatura fue mayor, la pérdida de masa fue menor, hecho que se contrapone a lo esperado, debido a que es sabido que a mayor temperatura la solubilidad del agua se acelera.

Gracias a que se calcularon algunas estadísticas descriptivas de densidad básica (Cuadro N°6), se puede afirmar que los promedios totales de densidad entre madera radial y tangencial resultaron equipararse luego del tratamiento, lo que refleja una disminución considerable de masa más acentuada en corte radial, lo que coincidió perfectamente con el trabajo hecho en Coigüe (Bascour, 1995), donde la disminución fue similar, lo que comparte la misma explicación del porqué los resultados de permeabilidad en madera radial fueron mayores (gran proporción de madera de primavera). Además se observa que la

desviación estándar fue bastante baja, debido a que representa el 8,6% del promedio total de los datos. También se puede visualizar que el menor valor de densidad básica observado fue 427,65[kg/m³], obtenido en madera tangencial pretratada a 50°C durante 16h, y el valor máximo corresponde a madera radial testigo, el cual fue 574,83[kg/m³]. Dentro de la madera que recibió pretratamiento, el mayor valor fue 573,62[kg/m³] y se obtuvo al en madera radial sumergida a 90°C durante 16h.

Cuadro N°6.- Estadísticas descriptivas para Densidad básica de *Eucalyptus nitens*.

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE TODOS LOS DATOS DE D0,G [KG/M3]						
			Prom.	Desv. Estánd.	Mín.	Máx.
Testigo	Corte	Radial	530,50	62,69	486,17	574,83
		Tangencial	499,90	12,13	491,32	508,48
Inmersión	Corte	Radial	485,51	50,52	433,80	573,62
		Tangencial	485,33	33,61	427,65	531,65
	Temperatura	50°C	462,10	29,23	427,65	498,23
		70°C	487,48	34,57	437,40	531,65
		90°C	506,68	51,40	440,60	573,62
	Tiempo	8h	500,13	34,14	454,36	560,05
		16h	489,54	52,92	427,65	573,62
		24h	466,58	34,92	433,80	531,65
Total de los datos			491,38	42,19	427,65	574,83

Todas las tendencias de los promedios de densidad básica en madera pretratada se pueden observar con claridad en la gráfica de efectos principales, que permite hacer una discusión mucho más simple que en el caso de la permeabilidad (Figura N°23). Se observa que la conexión entre las medias en corte radial y tangencial es casi horizontal, ya que los dos promedios de d0,g fueron prácticamente iguales, y entre ellos está la media general de los datos. En cambio, la línea de conexión de las medias en temperatura es totalmente inclinada y la más amplia de todas, donde en el nivel 50°C se encuentra un valor de 462,10[kg/m³], en 70°C asciende a 487,48[kg/m³] y en 90°C llega a la media máxima que es 506[kg/m³], y es la demostración gráfica de lo comentado anteriormente en la tabla de promedios. Lo que no se había comentado es lo que vemos en el tercer panel, donde a medida que el tiempo aumenta, las medias de densidad básica disminuyen, lo que hace inferir que mientras más tiempo de inmersión transcurra, la pérdida de masa es mayor, y esto si que comparte lógica con lo esperado inicialmente.

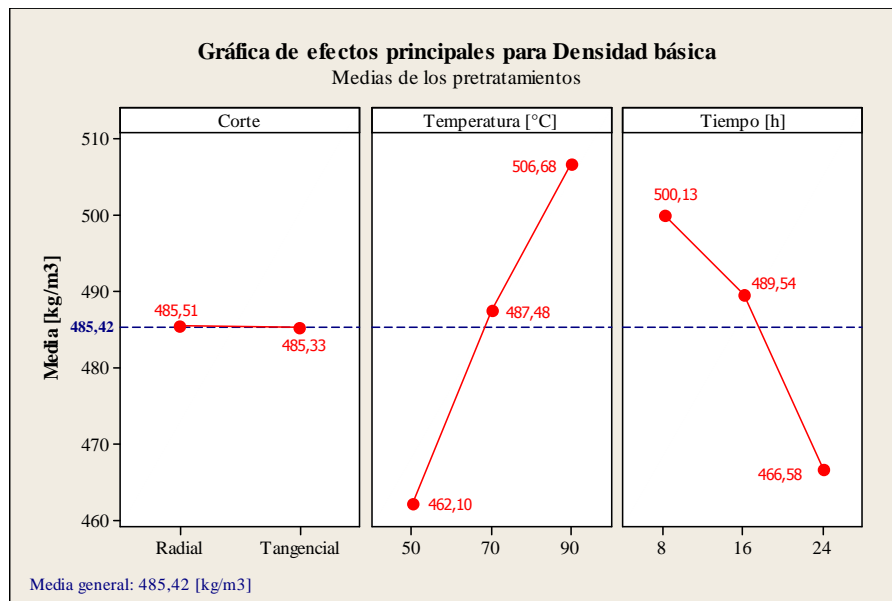


Figura N°23.- Gráfica de efectos principales para d_{0,g} de madera con pretratamiento.

Los efectos principales indican que, si se busca que la madera de Eucalipto nitens pierda masa en el agua, o que los componentes hidrosolubles se liberen de mejor forma, se debería sumergir a temperaturas no muy elevadas (en este caso 50°C) y durante el mayor tiempo posible (en este caso 24h), combinación que coincide perfectamente con el promedio mínimo de densidad básica observado en el Cuadro N°5, el cual es 450,11[kg/m³].

El hecho de que el tratamiento que entrega menor promedio de d_{0,g} sea el de 50°C durante 24h coincide parcialmente con el que entrega mayor promedio de KG, el cual pertenece a la inmersión a 50°C durante 16h. También se debe considerar que las combinaciones que entregaron el mayor promedio de KG fueron justamente las hechas a 50°C, y que el dato mínimo obtenido en la medición de d_{0,g} (mencionado un poco más arriba) se obtuvo en la inmersión a 50°C durante 16h, donde se consiguió el mayor promedio de KG.

Sin perjuicio de lo señalado, en la Figura N°22 se observa que la influencia de las interacciones es muy marcada, y transforma la situación en algo más complejo todavía.

En el primer panel se observa que la temperatura 50°C no influyó significativamente en ambos cortes. Sin embargo, la temperatura 70°C hizo aumentar considerablemente la media en corte tangencial e hizo que en corte radial siga casi constante. Luego, 90°C sucede todo lo contrario, porque mientras que ocurrió una baja considerable en el corte tangencial, hubo una enorme alza en el corte radial, llegando al valor máximo.

En el panel de interacción entre Corte y Tiempo se aprecia que a las 8h no hubo mayor influencia sobre ambos cortes, y luego en 16h y 24h se observa que si existió una pequeña influencia, en la cual en el primero hay un valor mayor en corte radial y en la segunda hay un valor mayor en corte tangencial.

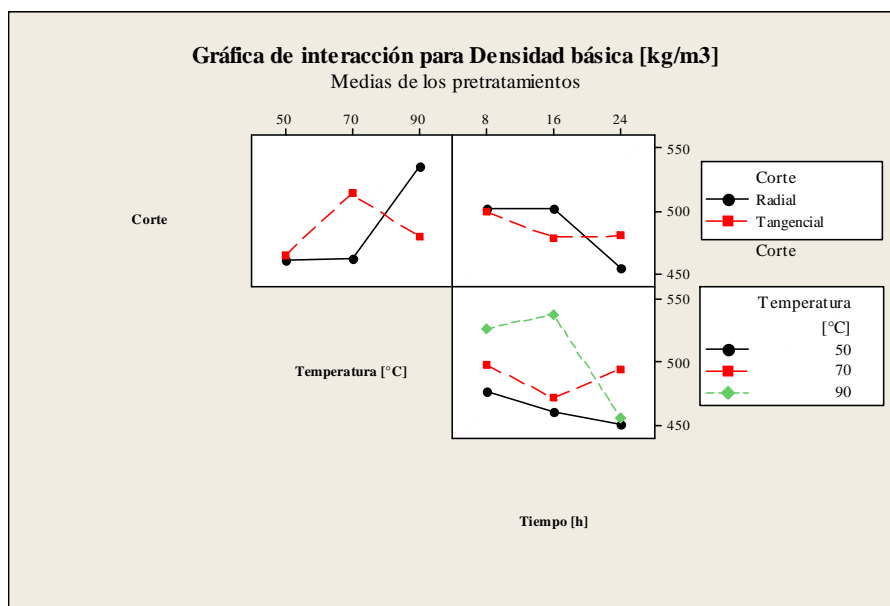


Figura N°24.- Gráfica de interacción para d₀,g de madera con pretratamiento.

Finalmente, en el tercer panel, se muestra la interacción entre Temperatura y Tiempo, donde se nota que a 8h no hubo mayor diferencia entre las medias. Después, en 16h la media en los 50°C se escapó por la parte superior, mientras que las otras temperaturas presentaron medias similares y mucho más bajas. Luego, en 24h, no hay diferencia significativa en los 50°C y 90°C, pero si la hay para los 70°C, donde se aprecia una leve alza en la media de d₀,g.

Debido a que todo este análisis de densidad básica nunca fue considerado como objetivo dentro del estudio, se realizaron pocas repeticiones de medición, sólo para registrar información extra y porque surgió la duda de que si la madera perdería masa o no ante los pretratamientos. Por esta razón, el análisis de varianza de d₀,g se hizo, pero con muy poca confiabilidad, y arrojó valores P muy altos, debido básicamente a que el número de observaciones (n) es muy bajo (Apéndice N°4). No obstante se observan tendencias, donde se ratifica que el factor “Corte” por sí solo y la interacción “Corte*Tiempo” no influirían significativamente dentro de los datos. Todas las demás variables y combinaciones si lo harían, como ya se ha demostrado en las gráficas anteriores. También se hizo el análisis de los residuos, y ocurre el mismo fenómeno que en KG: la normalidad se demuestra en la gráfica de probabilidad normal y el histograma, y se demuestra una correcta tendencia de la media y una varianza constante en el tiempo (Apéndice N°5).

4. CONCLUSIONES

- Sólo algunos tratamientos de inmersión en agua caliente entregan mayores promedios de coeficiente de permeabilidad gaseosa (KG) con respecto a valores testigo en madera de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. Es más, el promedio general de KG en madera testigo es ligeramente mayor que en madera tratada, fenómeno que se contrapone a lo esperado.

- Absolutamente todos los promedios de KG mayores en madera de corte radial (flujo tangencial) que en corte tangencial (flujo radial), desde cualquier punto de vista, hecho que no coincide con los antecedentes bibliográficos disponibles, pero que si coincide con los promedios totales obtenidos en trabajos similares hechos en *Sequoia sempervirens* D. Don (ENDL). por Espinosa en el año 2004 y en *Pinus radiata* D. Don por Toledo en el año 1995.

- Contrario a lo esperado, a medida que la temperatura de inmersión es mayor, la permeabilidad gaseosa promedio se hace menor.

- El factor “Tiempo” y la interacción “Corte*Temperatura” no influyen por si solas sobre los datos de KG, mientras que todas las demás fuentes si lo hacen.

- El pretratamiento que entrega el mayor valor promedio de KG es a una temperatura de 50°C durante 16 horas, pero no es mayor de manera estadísticamente significativa que el promedio general de KG obtenido en madera testigo. Sin embargo, si se hace diferencia en el tipo de corte, se puede apreciar que las inmersiones que muestran valores de KG significativamente mayores son, para corte radial, a 50°C durante 24 horas, a 70°C durante 8h y 24h, y a 90°C durante 16h, y para corte tangencial son a 50°C durante 8h y 16 horas.

- En cuanto a la densidad básica ($d_{0,g}$) de la madera de Eucalipto nitens, el valor promedio general en madera testigo es de 515,20[kg/m³] y en madera pretratada es de 485,42[kg/m³], disminución que permite demostrar que existe una notable pérdida de masa.

- La disminución de la densidad es más pronunciada en madera de corte radial que de tangencial, y se explica por la misma razón anatómica de por qué la permeabilidad resulta ser mayor en el corte radial, la cual es que éste posee una gran proporción de madera blanda o de primavera. Aún así, ambos tipos de corte obedecen de la misma forma frente a cambios en las variables.

- Existe una menor disminución de densidad a medida que la temperatura se eleva, llegando a notar una diferencia insignificante entre el promedio de $d_{0,g}$ a los 90°C y el promedio testigo. Este extraño fenómeno se condice con el menor aumento de permeabilidad percibido a medida que la temperatura se hace mayor.

- A medida que el tiempo de inmersión aumenta, se produce una mayor disminución de $d_{0,g}$, que si comparte lógica con lo esperado. En 8 horas se muestra una densidad básica promedio de 500,13[kg/m³]; en 16 horas 489,54[kg/m³]; y en 24 horas 466,58[kg/m³].

- La inmersión que logra el menor valor promedio de densidad básica, es decir, el pretratamiento que haría perder la mayor cantidad de masa hidrosoluble es el de 24 horas a 50°C, que presenta un valor de 450,11[kg/m³]. Pero el dato mínimo es de 427,65[kg/m³], y se obtiene durante 16 horas a 50°C, combinación que coincide con la que entrega el máximo valor promedio de permeabilidad.

- Considerando los análisis de los resultados obtenidos de permeabilidad y densidad de Eucalipto nitens, se observan diferencias considerables al clasificar la madera por tipo de corte. Los tratamientos que obtienen mayores valores de permeabilidad y menores valores de densidad para corte radial son a 50°C durante 24 horas y para corte tangencial son a 50°C durante 8 horas. Si no se diferencia el tipo de corte, la inmersión que entrega los mayores valores promedio de permeabilidad y los menores valores promedio de densidad es la de 50°C durante 24 horas, seguida de cerca por la de 16hrs a la misma temperatura. Este antecedente coincide casi perfectamente con el estudio similar hecho con Coigüe (Bascour, 1995), que recomienda una inmersión a 45°C durante 24 horas.

5. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

- Tal como ya fue discutido, el hecho de que no se observe un aumento significativo de permeabilidad con los tratamientos, sabiendo que efectivamente existe una baja de densidad, se podría deber a que la maceración surtiría mayor efecto en la superficie de la madera, y como las probetas resultaron ser extraídas desde el centro de las tablas en su espesor (ya que éstas eran demasiado gruesas y las probetas no pueden serlo) probablemente no se haya logrado detectar el fenómeno a cabalidad, lo que indicaría que se debe seguir experimentando en pro de descubrir si el tratamiento de maceración tiene incidencia significativa o no dentro de las variables que determinan el secado de la madera. Debido a esta supuesta falencia, lo altamente recomendable para otro estudio de esta índole sería estimar que espesor de aserrado es necesario para hacer todos los tratamientos y mediciones necesarios, secar, cepillar levemente por ambas caras y obtener las probetas al espesor requerido de forma inmediata, sin dejar de considerar que espesores demasiado amplios no permitirían el paso de aire a través de la madera en los ensayos.

- Aunque no hayan diferencias considerables dentro de los resultados generales de permeabilidad en los diferentes tratamientos, al hacer distinción de corte si las hay, lo que invita a replantear que la diferenciación de tipos de corte a nivel industrial, si bien no es necesaria normalmente, quizá para casos como este si la sea, sumado a la determinación de tratamientos óptimos para cada caso.

- Considerando los resultados de permeabilidad y densidad obtenidos, se recomienda clasificar la madera por tipo de corte, y los tratamientos que obtendrían los mayores valores de permeabilidad y los menores valores de densidad, sin diferencia significativa entre ellos, son: para corte radial 50°C durante 24 horas, 70°C durante 8 y 24 horas y 90°C durante 16 horas, y para corte tangencial a 50°C durante 8 y 16 horas. Lógicamente, si existe la libertad de elegir entre cualquiera de estos tratamientos, si cualquiera cumpliera satisfactoriamente con los requerimientos, la inmersión que se recomienda para corte radial es a 50°C durante 24 horas y para corte tangencial es a 50°C durante 8 horas, con tal de optimizar tiempo y recursos.

- Si no existe la posibilidad de clasificar según tipo de corte, la inmersión que entregaría los mayores promedios de permeabilidad y los menores promedios de densidad sería la de 50°C durante 24 horas, seguida de cerca por la de 50°C durante 16hrs.

- Con un análisis visual se confirma que la madera pretratada efectivamente muestra mejores resultados de secado que la madera que no recibe tratamiento, sin diferencias considerables entre las distintas combinaciones de inmersión, mostrando todas ellas leves defectos mientras que en madera testigo las fallas de alabeos, colapso y grietas, son bastante marcadas, especialmente, en corte tangencial.

- Se recomienda, firmemente, continuar investigando acerca de este nuevo tema que está recién siendo estudiado con mayor interés, al ser un capítulo que posee gran potencial de información para el rubro maderero chileno y mundial, con nuevos avances y publicaciones latentes.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, Noves. H. y Fernández-Golfín, Seco. J. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 1992. 193p.

BASCOUR Pérez, Mauricio Enrique. Efecto de la inmersión en agua caliente sobre la permeabilidad de la madera de Coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst.). Memoria (Título Profesional de Ingeniero Forestal). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 1995. 111h.

CAMPBELL Munro, George. The value of presteaming for drying some collapse-susceptible *Eucalyptus*. Forest Products Journal 11(8): 343-347. 1961.

CECH, M. y GOULET, M. Transverse compression treatment of wood to improve its drying behavior. Forest Products Journal 18(5): 91-92. 1968.

COOPER, G. y BARHAM, S. Effects of soaking in extractives and prefreezing on the drying behavior of Eastern Cottonwood. Wood Science 7(4): 267-269. 1975.

DÍAZ-VAZ, Juan. Anatomía de maderas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, 2003. 151p.

ESPINOSA Urmeneta, María Angélica. Estudio de la permeabilidad de la *Sequoia sempervirens* D. Don Cultivada en Chile. Tesis (Magister en Ciencias Forestales, Mención Ciencias e Industrias de la Madera). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 2004. 49h.

GUTIÉRREZ Daure, Misael. Tecnología del secado de la madera. En: Proyecto regional de alternativas para la inversión forestal – Fase II. Dirección Forestal/Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo, 1995. 63p.

INFOR. Datos tecnológicos del *Eucalyptus nitens*. [en línea]. <<http://www.nitens.cl/datos%20tecnologicos.pdf>> [consulta: julio 2010]

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (CHILE). NCh 176/1 Of84. Madera - Parte 1: Determinación de Humedad. 1984. 14p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (CHILE). NCh 176/2 Of86. Madera - Parte 2: Determinación de la Densidad. 1988. 18p.

Juacida P., Roberto. *Eucalyptus nitens* en Chile: procesos industriales de la madera. Informe técnico N° 163. Valdivia, Chile. Instituto Forestal, 2004. 142p.

LIGNUM. *Eucalyptus nitens*: La nueva estrella del sector forestal. Lignum N°67: 59-61. Noviembre, 2003

LIGNUM. Exportaciones 2009. Caída en picada. Lignum N°118: 79-83. Mayo, 2010.

MARIANI S., Poblete H., Torres M., Fernández A., Morales E. 2005. Caracterización física y química del *Eucalyptus nitens* con la altura. En: II Coloquio Internacional de pulpa de Eucalipto: 24-26 Mayo 2005. Concepción, Chile. s.p.

MONTGOMERY, Douglas C. Diseño y análisis de experimentos. 2° Ed, México, Limusa Willey, 2005. 685p.

QUILODRÁN González, Gabriel Eugenio. Efecto de la acción de dos hongos de pudrición blanca sobre la composición química de pin chips de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*. Memoria (Título Profesional de Ingeniero de la Madera). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 2006. 55h.

SALVO L., Ananías R., Cloutier A. Influencia de la estructura anatómica en la permeabilidad específica transversal al gas del Pino radiata. Madera, Ciencia y Tecnología. 6(1): 33-44. 2004.

SIAU, John. Flow in Wood. New York, Syracuse University Press, 1971. 131p.

TOLEDO Menanteau, Elsa Alejandra. Influencia de dos sales preservantes en la permeabilidad de madera de Pino insigne (Pinus radiata D.Don). Memoria (Título Profesional de Ingeniero Forestal). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 1995. 82h.

7. APÉNDICE

Cuadro N°7-. Determinación de Densidad básica.

TRATAMIENTO	CORTE	PROBETA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	LARGO (mm)	V VERDE (c3)	PESO SECO (g)	D 0,g (kg/m3)	PROM.	PROM.
50 °C - 8 hrs	radial	23B	20	29	136	78,8800	35,8400	454,3611	476,29	462,10
	tangencial	25B	20	29	136	78,8800	39,3000	498,2252		
50 °C - 16 hrs	radial	9C	18	29	138	72,0360	35,4500	492,1151	459,88	
	tangencial	32B	21	29	136	82,8240	35,4200	427,6538		
50 °C - 24 hrs	radial	30C	19	29	133	73,2830	31,7900	433,7977	450,11	
	tangencial	35B	20	29	134	77,7200	36,2500	466,4179		
70 °C - 8 hrs	radial	1C	19	29	138	76,0380	37,3500	491,2018	497,40	
	tangencial	22B	20	29	139	80,6200	40,6000	503,5971		
70 °C - 16 hrs	radial	4C	18	29	137	71,5140	31,2800	437,3969	470,93	
	tangencial	20C	17	29	138	68,0340	34,3200	504,4537		
70 °C - 24 hrs	radial	39C	20	29	137	79,4600	36,2800	456,5819	494,12	
	tangencial	33C	19	29	136	74,9360	39,8400	531,6537		
90 °C - 8 hrs	radial	5C	17	31	136	71,6720	40,1400	560,0513	526,71	
	tangencial	37B	19	31	135	79,5150	39,2300	493,3660		
90 °C - 16 hrs	radial	5B	17	31	135	71,1450	40,8100	573,6173	537,82	
	tangencial	8B	19	29	136	74,9360	37,6200	502,0284		
90 °C - 24 hrs	radial	18B	18	31	136	75,8880	35,7000	470,4301	455,52	
	tangencial	31C	20	31	126	78,1200	34,4200	440,6042		
sin tratamiento	radial	3C	20	52	137	142,4800	69,2700	486,1735	530,50	
		6D	20	51	136	138,7200	79,7400	574,8270		
	tangencial	21B	20	50	136	136,0000	66,8200	491,3235	499,90	
		40A	20	52	135	140,4000	71,3900	508,4758		

Cuadro N°8-. Determinación de KG madera testigo radial.

Muestras	1B		2C		4B		5D		7B		9B		16C	
Probetas	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	90	90	90	90	90	100	90
P Salida (mm Hg)	113	81	96	91	121	116	143	57	45	50	78	69	76	64
T° aire (°C)	13	16	15	15	13	13	13	16	15	15	13	13	16	16
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	910	910	910	910	910	1040	910
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,7440	3,2760
Δ P (atm)	0,3352	0,3773	0,3576	0,3641	0,3247	0,3312	0,2957	0,4089	0,4247	0,4181	0,3813	0,3931	0,3839	0,3997
Prom P (atm)	0,3163	0,2952	0,3051	0,3018	0,3216	0,3183	0,3360	0,2795	0,2716	0,2749	0,2933	0,2874	0,2920	0,2841
KG	1,2491	1,1889	1,2139	1,2050	1,2685	1,2562	1,3327	1,0141	1,0048	1,0084	1,0364	1,0259	1,1817	1,0207

17A		18C		19B		26 ^a		27A		28B		29B		30B	
1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
100	100	90	90	100	100	100	100	100	100	90	90	100	100	100	100
128	115	76	73	115	104	69	157	109	100	56	59	110	99	108	169
13	13	15	15	13	13	15	15	15	15	13	13	15	15	15	16
1040	1040	910	910	1040	1040	1040	1040	1040	1040	910	910	1040	1040	1040	1040
3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
0,3155	0,3326	0,3839	0,3878	0,3326	0,3470	0,3931	0,2773	0,3405	0,3523	0,4102	0,4063	0,3391	0,3536	0,3418	0,2615
0,3262	0,3176	0,2920	0,2900	0,3176	0,3104	0,2874	0,3453	0,3137	0,3078	0,2788	0,2808	0,3143	0,3071	0,3130	0,3532
1,2871	1,2538	1,0339	1,0304	1,2538	1,2295	1,1725	1,3834	1,2401	1,2215	1,0133	1,0159	1,2424	1,2196	1,2380	1,4341

39B		23D		12C		PROM TOTAL
1°	2°	1°	2°	1°	2°	
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
100	100	100	100	90	90	96,67
118	108	145	136	90	88	98,11
13	13	15	15	15	15	14,36
1040	1040	1040	1040	910	910	996,67
3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,5880
0,3286	0,3418	0,2931	0,3049	0,3655	0,3681	0,3548
0,3196	0,3130	0,3374	0,3314	0,3012	0,2999	0,3065
1,2610	1,2380	1,3395	1,3104	1,0529	1,0499	1,1813

Cuadro N°9.- Determinación de KG madera testigo tangencial.

Muestras	8C		10A		11C		13C		14C		15C		20A	
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Flujo (mm)	70	70	100	100	100	100	70	70	100	100	100	100	70	70
P Salida (mm Hg)	73	65	154	127	151	52	19	21	158	154	143	150	41	134
T° aire (°C)	15	15	18	13	15	15	16	16	15	18	14	14	13	18
Q (nl/h)	680	680	1040	1040	1040	1040	680	680	1040	1040	1040	1040	680	680
Q (cm3/seg)	2,4480	2,4480	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	2,4480	2,4480	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	2,4480	2,4480
Δ P (atm)	0,3878	0,3984	0,2812	0,3168	0,2852	0,4155	0,4589	0,4563	0,2760	0,2812	0,2957	0,2865	0,4299	0,3076
Prom P (atm)	0,2900	0,2847	0,3433	0,3255	0,3413	0,2762	0,2545	0,2558	0,3459	0,3433	0,3360	0,3407	0,2689	0,3301
KG	0,7700	0,7635	1,3718	1,2844	1,3606	1,1543	0,7416	0,7420	1,3873	1,3718	1,3327	1,3570	0,7489	0,8529

22A		24B		25D		31D		32C		33A		34C		35A	
1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
100	80	100	100	100	100	100	70	80	80	100	100	100	100	100	100
140	51	146	123	144	118	148	64	148	117	146	124	33	30	90	73
15	15	16	16	15	15	14	16	16	16	16	16	16	16	16	16
1040	790	1040	1040	1040	1040	1040	680	790	790	1040	1040	1040	1040	1040	1040
3,7440	2,8440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	2,4480	2,8440	2,8440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
0,2997	0,4168	0,2918	0,3220	0,2944	0,3286	0,2891	0,3997	0,2891	0,3299	0,2918	0,3207	0,4405	0,4444	0,3655	0,3878
0,3341	0,2755	0,3380	0,3229	0,3367	0,3196	0,3393	0,2841	0,3393	0,3189	0,3380	0,3235	0,2637	0,2617	0,3012	0,2900
1,3230	0,8761	1,3429	1,2737	1,3361	1,2610	1,3499	0,7627	1,0254	0,9561	1,3429	1,2763	1,1404	1,1388	1,2033	1,1776

36B		37A		38C		PROM TOTAL
1°	2°	1°	2°	1°	2°	
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
100	90	100	100	100	85	91,81
99	45	138	157	154	42	104,78
14	14	14	14	18	16	15,42
1040	910	1040	1040	1040	855	940,42
3,7440	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,0780	3,3855
0,3536	0,4247	0,3023	0,2773	0,2812	0,4286	0,3460
0,3071	0,2716	0,3328	0,3453	0,3433	0,2696	0,3109
1,2196	1,0048	1,3166	1,3834	1,3718	0,9422	1,1462

Cuadro N°10-. Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 8h.

Muestras	9D		12A		17D		23B		28D		30D		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
P Salida (mm Hg)	101	92	96	92	95	99	105	87	93	88	98	92	94,83
T° aire (°C)	24	24	18	18	23	23	18	18	23	23	24	24	21,67
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040,00
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
Δ P (atm)	0,3510	0,3628	0,3576	0,3628	0,3589	0,3536	0,3457	0,3694	0,3615	0,3681	0,3549	0,3628	0,3591
Prom P (atm)	0,3084	0,3025	0,3051	0,3025	0,3045	0,3071	0,3110	0,2992	0,3031	0,2999	0,3064	0,3025	0,3044
KG	1,2235	1,2067	1,2139	1,2067	1,2121	1,2196	1,2316	1,1983	1,2085	1,1999	1,2177	1,2067	1,2121

Cuadro N°11-. Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 16h.

Muestras	9C		12B		17C		23C		28A		30A		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	80	90	80	80	90	100	100	90	100	100	92,50
P Salida (mm Hg)	90	86	77	82	65	70	96	104	130	86	148	122	96,33
T° aire (°C)	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	23,67
Q (nl/h)	1040	1040	790	910	790	790	910	1040	1040	910	1040	1040	945,00
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	2,8440	3,2760	2,8440	2,8440	3,2760	3,7440	3,7440	3,2760	3,7440	3,7440	3,4020
Δ P (atm)	0,3655	0,3707	0,3826	0,3760	0,3984	0,3918	0,3576	0,3470	0,3128	0,3707	0,2891	0,3233	0,3571
Prom P (atm)	0,3012	0,2985	0,2926	0,2959	0,2847	0,2880	0,3051	0,3104	0,3275	0,2985	0,3393	0,3222	0,3053
KG	1,2033	1,1966	0,8987	1,0416	0,8870	0,8916	1,0622	1,2295	1,2928	1,0471	1,3499	1,2711	1,1143

Cuadro N°12-. Determinación de KG tratamiento radial - 50°C - 24h.

Muestras	9A		12D		17B		23A		28C		30C		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
P Salida (mm Hg)	136	147	140	137	133	141	146	152	144	146	110	141	139,42
T° aire (°C)	23	23	24	24	24	24	23	23	24	24	23	23	23,50
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040,00
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
Δ P (atm)	0,3049	0,2904	0,2997	0,3036	0,3089	0,2983	0,2918	0,2839	0,2944	0,2918	0,3391	0,2983	0,3004
Prom P (atm)	0,3314	0,3387	0,3341	0,3321	0,3295	0,3347	0,3380	0,3420	0,3367	0,3380	0,3143	0,3347	0,3337
KG	1,3104	1,3463	1,3230	1,3135	1,3014	1,3262	1,3429	1,3643	1,3361	1,3429	1,2424	1,3262	1,3230

Cuadro N°13-. Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 8h.

Muestras	1C		4A		16B		19D		27B		39A		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
P Salida (mm Hg)	147	137	140	118	133	129	144	153	139	144	141	149	139,50
T° aire (°C)	15	15	24	24	23	23	23	23	15	15	15	15	19,17
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040,00
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
Δ P (atm)	0,2904	0,3036	0,2997	0,3286	0,3089	0,3141	0,2944	0,2826	0,3010	0,2944	0,2983	0,2878	0,3003
Prom P (atm)	0,3387	0,3321	0,3341	0,3196	0,3295	0,3268	0,3367	0,3426	0,3334	0,3367	0,3347	0,3400	0,3337
KG	1,3463	1,3135	1,3230	1,2610	1,3014	1,2899	1,3361	1,3680	1,3198	1,3361	1,3262	1,3534	1,3229

Cuadro N°14-. Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 16h.

Muestras	1A		4C		16D		19A		27C		39D		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	90	90	80	80	100	90	80	80	80	80	100	100	87,50
P Salida (mm Hg)	106	97	49	39	72	61	39	42	64	54	154	118	74,58
T° aire (°C)	18	18	15	15	15	15	13	13	15	15	18	18	15,67
Q (nl/h)	910	910	790	790	1040	910	790	790	790	790	1040	1040	882,50
Q (cm3/seg)	3,2760	3,2760	2,8440	2,8440	3,7440	3,2760	2,8440	2,8440	2,8440	2,8440	3,7440	3,7440	3,1770
Δ P (atm)	0,3444	0,3562	0,4194	0,4326	0,3891	0,4036	0,4326	0,4286	0,3997	0,4128	0,2812	0,3286	0,3857
Prom P (atm)	0,3117	0,3058	0,2742	0,2676	0,2893	0,2821	0,2676	0,2696	0,2841	0,2775	0,3433	0,3196	0,2910
KG	1,0795	1,0638	0,8748	0,8690	1,1763	1,0178	0,8690	0,8706	0,8861	0,8782	1,3718	1,2610	1,0182

Cuadro N°15-. Determinación de KG tratamiento radial - 70°C - 24h.

Muestras	1D		4D		16A		19C		27D		39C		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	90	100	100	100	100	100	99,17
P Salida (mm Hg)	147	152	149	144	126	137	105,5	121	154	164	162	159	143,38
T° aire (°C)	15	15	18	18	24	24	24	24	18	18	15	15	19,00
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	910	1040	1040	1040	1040	1040	1029,17
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7050
Δ P (atm)	0,2904	0,2839	0,2878	0,2944	0,3181	0,3036	0,3451	0,3247	0,2812	0,2681	0,2707	0,2747	0,2952
Prom P (atm)	0,3387	0,3420	0,3400	0,3367	0,3249	0,3321	0,3114	0,3216	0,3433	0,3499	0,3485	0,3466	0,3363
KG	1,3463	1,3643	1,3534	1,3361	1,2817	1,3135	1,0786	1,2685	1,3718	1,4121	1,4036	1,3913	1,3268

Cuadro N°16-. Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 8h.

Muestras	2B		5C		7C		18A		26C		29A		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	90	90	90	90	90	90	90	80	90	90	90	90	89,17
P Salida (mm Hg)	65	83	86	92	59	96	64	76	71	90	75	82	78,25
T° aire (°C)	13	13	17	17	15	15	15	15	15	15	17	17	15,33
Q (nl/h)	910	910	910	910	910	910	910	790	910	910	910	910	900,00
Q (cm3/seg)	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	2,8440	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2400
Δ P (atm)	0,3984	0,3747	0,3707	0,3628	0,4063	0,3576	0,3997	0,3839	0,3905	0,3655	0,3852	0,3760	0,3809
Prom P (atm)	0,2847	0,2966	0,2985	0,3025	0,2808	0,3051	0,2841	0,2920	0,2887	0,3012	0,2913	0,2959	0,2934
KG	1,0217	1,0429	1,0471	1,0559	1,0159	1,0622	1,0207	0,8976	1,0281	1,0529	1,0327	1,0416	1,0266

Cuadro N°17-. Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 16h.

Muestras	2A		5B		7A		18D		26B		29D		PROM REAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	90	90	90	90	100	100	100	100	100	100	96,67
P Salida (mm Hg)	115	109	85	76	76	84	118	101	88	89	103	96	95,00
T° aire (°C)	15	15	15	15	18	18	18	18	15	15	18	18	16,50
Q (nl/h)	1040	1040	910	910	910	910	1040	1040	1040	1040	1040	1040	996,67
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,5880
Δ P (atm)	0,3326	0,3405	0,3720	0,3839	0,3839	0,3734	0,3286	0,3510	0,3681	0,3668	0,3484	0,3576	0,3589
Prom P (atm)	0,3176	0,3137	0,2979	0,2920	0,2920	0,2972	0,3196	0,3084	0,2999	0,3005	0,3097	0,3051	0,3045
KG	1,2538	1,2401	1,0457	1,0339	1,0339	1,0443	1,2610	1,2235	1,1999	1,2016	1,2275	1,2139	1,1649

Cuadro N°18-. Determinación de KG tratamiento radial - 90°C - 24h.

Muestras	2D		5A		7D		18B		26D		29C		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	90	90	100	100	100	90	100	100	80	80	100	90	93,33
P Salida (mm Hg)	52	70	106	112	72	76	69	72	56	76	104	88	79,42
T° aire (°C)	16	16	15	15	15	15	13	13	17	17	18	18	15,67
Q (nl/h)	910	910	1040	1040	1040	910	1040	1040	790	790	1040	910	955,00
Q (cm3/seg)	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	3,7440	3,2760	3,4380
Δ P (atm)	0,4155	0,3918	0,3444	0,3365	0,3891	0,3839	0,3931	0,3891	0,4102	0,3839	0,3470	0,3681	0,3794
Prom P (atm)	0,2762	0,2880	0,3117	0,3156	0,2893	0,2920	0,2874	0,2893	0,2788	0,2920	0,3104	0,2999	0,2942
KG	1,0100	1,0270	1,2337	1,2469	1,1763	1,0339	1,1725	1,1763	0,8797	0,8976	1,2295	1,0499	1,0944

Cuadro N°19-. Determinación de KG tratamiento tangencial- 50°C - 8h.

Muestras	11A		14D		25B		32A		35C		36D		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	90	90	100	100	100	100	90	90	100	100	90	90	95,00
P Salida (mm Hg)	88	97	137	117	115	128	70	85	114	118	121	126	109,67
T° aire (°C)	24	24	24	24	16	16	16	16	24	24	24	24	21,33
Q (nl/h)	910	910	1040	1040	1040	1040	910	910	1040	1040	910	910	975,00
Q (cm3/seg)	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	3,5100
Δ P (atm)	0,3681	0,3562	0,3036	0,3299	0,3326	0,3155	0,3918	0,3720	0,3339	0,3286	0,3247	0,3181	0,3396
Prom P (atm)	0,2999	0,3058	0,3321	0,3189	0,3176	0,3262	0,2880	0,2979	0,3170	0,3196	0,3216	0,3249	0,3141
KG	1,0499	1,0638	1,3135	1,2586	1,2538	1,2871	1,0270	1,0457	1,2515	1,2610	1,1100	1,1215	1,1703

Cuadro N°20-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 50°C - 16h.

Muestras	11B		14A		25A		32B		35D		36C		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
Probetas													
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
P Salida (mm Hg)	137	125	157	147	128	154	134	155	135	144	152	149	143,08
T° aire (°C)	24	24	24	24	18	18	18	18	24	24	24	24	22,00
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040,00
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440
Δ P (atm)	0,3036	0,3194	0,2773	0,2904	0,3155	0,2812	0,3076	0,2799	0,3062	0,2944	0,2839	0,2878	0,2956
Prom P (atm)	0,3321	0,3242	0,3453	0,3387	0,3262	0,3433	0,3301	0,3439	0,3308	0,3367	0,3420	0,3400	0,3361
KG	1,3135	1,2790	1,3834	1,3463	1,2871	1,3718	1,3044	1,3756	1,3074	1,3361	1,3643	1,3534	1,3352

Cuadro N°21-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 50°C - 24h.

Muestras	11D		14B		25C		32D		35B		36A		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
Probetas													
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70,00
P Salida (mm Hg)	23	28	35	39	37	31	36	41	49	33	27	33	34,33
T° aire (°C)	16	16	24	24	16	16	24	24	16	16	24	24	20,00
Q (nl/h)	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680,00
Q (cm3/seg)	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480
Δ P (atm)	0,4536	0,4471	0,4378	0,4326	0,4352	0,4431	0,4365	0,4299	0,4194	0,4405	0,4484	0,4405	0,4387
Prom P (atm)	0,2571	0,2604	0,2650	0,2676	0,2663	0,2623	0,2656	0,2689	0,2742	0,2637	0,2597	0,2637	0,2645
KG	0,7425	0,7439	0,7464	0,7480	0,7472	0,7449	0,7468	0,7489	0,7530	0,7456	0,7436	0,7456	0,7464

Cuadro N°22-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 8h.

Muestras	10B		13B		20D		22B		33B		38D		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
Probetas													
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	70	70	100	100	80	80	90	90	90	90	90	90	86,67
P Salida (mm Hg)	36	40	89	58	41	46	45	49	63	76	51	58	54,33
T° aire (°C)	15	15	18	18	15	15	17	17	15	15	13	13	15,50
Q (nl/h)	680	680	1040	1040	790	790	910	910	910	910	910	910	873,33
Q (cm3/seg)	2,4480	2,4480	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	3,1440
Δ P (atm)	0,4365	0,4313	0,3668	0,4076	0,4299	0,4234	0,4247	0,4194	0,4010	0,3839	0,4168	0,4076	0,4124
Prom P (atm)	0,2656	0,2683	0,3005	0,2801	0,2689	0,2722	0,2716	0,2742	0,2834	0,2920	0,2755	0,2801	0,2777
KG	0,7468	0,7485	1,2016	1,1600	0,8701	0,8729	1,0048	1,0077	1,0197	1,0339	1,0092	1,0150	0,9742

Cuadro N°23-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 16h.

Muestras	10D		13D		20C		22D		33D		38A		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
Probetas													
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	80	70	70	70	100	100	90	90	70	70	100	100	84,17
P Salida (mm Hg)	89	42	66	49	80	73	43	37	39	44	65	74	58,42
T° aire (°C)	15	15	17	17	18	18	13	13	17	17	15	15	15,83
Q (nl/h)	790	680	680	680	1040	1040	910	910	680	680	1040	1040	847,50
Q (cm3/seg)	2,8440	2,4480	2,4480	2,4480	3,7440	3,7440	3,2760	3,2760	2,4480	2,4480	3,7440	3,7440	3,0510
Δ P (atm)	0,3668	0,4286	0,3970	0,4194	0,3786	0,3878	0,4273	0,4352	0,4326	0,4260	0,3984	0,3865	0,4070
Prom P (atm)	0,3005	0,2696	0,2854	0,2742	0,2946	0,2900	0,2702	0,2663	0,2676	0,2709	0,2847	0,2906	0,2804
KG	0,9127	0,7494	0,7642	0,7530	1,1874	1,1776	1,0035	0,9999	0,7480	0,7504	1,1677	1,1789	0,9494

Cuadro N°24-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 70°C - 24h.

Muestras	10C		13A		20B		22C		33C		38B		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	100	100	80	80	110	100	80	80	80	80	90,83
P Salida (mm Hg)	143	116	139	125	81	96	129	108	81	74	92	87	105,92
T° aire (°C)	24	24	18	18	24	24	15	15	18	18	15	15	19,00
Q (nl/h)	1040	1040	1040	1040	790	790	1150	1040	790	790	790	790	924,17
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	4,1400	3,7440	2,8440	2,8440	2,8440	2,8440	3,3270
Δ P (atm)	0,2957	0,3312	0,3010	0,3194	0,3773	0,3576	0,3141	0,3418	0,3773	0,3865	0,3628	0,3694	0,3445
Prom P (atm)	0,3360	0,3183	0,3334	0,3242	0,2952	0,3051	0,3268	0,3130	0,2952	0,2906	0,3025	0,2992	0,3116
KG	1,3327	1,2562	1,3198	1,2790	0,9031	0,9221	1,4264	1,2380	0,9031	0,8955	0,9166	0,9102	1,1086

Cuadro N°25-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 8h.

Muestras	8D		15D		24C		31B		34A		37B		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	70	70	80	80	90	90	90	90	70	70	75	75	79,17
P Salida (mm Hg)	39	51	62	69	93	80	89	84	47	38	57	49	63,17
T° aire (°C)	15	15	18	18	13	13	18	18	13	13	15	15	15,33
Q (nl/h)	680	680	790	790	910	910	910	910	680	680	740	740	785,00
Q (cm3/seg)	2,4480	2,4480	2,8440	2,8440	3,2760	3,2760	3,2760	3,2760	2,4480	2,4480	2,6640	2,6640	2,8260
Δ P (atm)	0,4326	0,4168	0,4023	0,3931	0,3615	0,3786	0,3668	0,3734	0,4220	0,4339	0,4089	0,4194	0,4008
Prom P (atm)	0,2676	0,2755	0,2827	0,2874	0,3031	0,2946	0,3005	0,2972	0,2729	0,2670	0,2795	0,2742	0,2835
KG	0,7480	0,7541	0,8844	0,8906	1,0574	1,0390	1,0514	1,0443	0,7519	0,7476	0,8247	0,8194	0,8844

Cuadro N°26-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 16h.

Muestras	8B		15A		24A		31A		34D		37D		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	80	80	80	80	100	100	80	80	100	100	80	80	86,67
P Salida (mm Hg)	65	75	102	93	156	148	97	93	160	146	76	89	108,33
T° aire (°C)	15	15	15	15	18	18	15	15	18	18	15	15	16,00
Q (nl/h)	790	790	790	790	1040	1040	790	790	1040	1040	790	790	873,33
Q (cm3/seg)	2,8440	2,8440	2,8440	2,8440	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	3,1440
Δ P (atm)	0,3984	0,3852	0,3497	0,3615	0,2786	0,2891	0,3562	0,3615	0,2733	0,2918	0,3839	0,3668	0,3413
Prom P (atm)	0,2847	0,2913	0,3091	0,3031	0,3446	0,3393	0,3058	0,3031	0,3472	0,3380	0,2920	0,3005	0,3132
KG	0,8870	0,8966	0,9309	0,9180	1,3795	1,3499	0,9235	0,9180	1,3954	1,3429	0,8976	0,9127	1,0626

Cuadro N°27-. Determinación de KG tratamiento tangencial - 90°C - 24h.

Muestras	8A		15B		24D		31C		34B		37C		PROM TOTAL
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
P Entrada (kg/cm2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,50
Flujo (mm)	100	100	80	80	70	70	70	70	80	80	100	100	83,33
P Salida (mm Hg)	88	94	75	62	69	85	60	86	67	79	104	95	80,33
T° aire (°C)	24	24	18	18	16	16	16	16	15	15	15	15	17,33
Q (nl/h)	1040	1040	790	790	680	680	680	680	790	790	1040	1040	836,67
Q (cm3/seg)	3,7440	3,7440	2,8440	2,8440	2,4480	2,4480	2,4480	2,4480	2,8440	2,8440	3,7440	3,7440	3,0120
Δ P (atm)	0,3681	0,3602	0,3852	0,4023	0,3931	0,3720	0,4049	0,3707	0,3957	0,3799	0,3470	0,3589	0,3782
Prom P (atm)	0,2999	0,3038	0,2913	0,2827	0,2874	0,2979	0,2814	0,2985	0,2860	0,2939	0,3104	0,3045	0,2948
KG	1,1999	1,2103	0,8966	0,8844	0,7666	0,7814	0,7598	0,7824	0,8888	0,9008	1,2295	1,2121	0,9594

Cuadro N°28-. Resumen tratamientos inmersión.

Tratamiento	Corte	Temp.	Tiempo
1	Radial	50 °C	8 h
2	Radial	50 °C	16 h
3	Radial	50 °C	24 h
4	Radial	70 °C	8 h
5	Radial	70 °C	16 h
6	Radial	70 °C	24 h
7	Radial	90 °C	8 h
8	Radial	90 °C	16 h
9	Radial	90 °C	24 h
10	Tangencial	50 °C	8 h
11	Tangencial	50 °C	16 h
12	Tangencial	50 °C	24 h
13	Tangencial	70 °C	8 h
14	Tangencial	70 °C	16 h
15	Tangencial	70 °C	24 h
16	Tangencial	90 °C	8 h
17	Tangencial	90 °C	16 h
18	Tangencial	90 °C	24 h

Cuadro N°29-. Comparación de medias “*Tukey*”.

Comparación de Medias - Tukey

Trat. A	Trat. B	Diferencia de Medias (A - B)	Sig.	IC(95%)
1	2	0,098	,93988348036	] -0,094 ; 0,289 [
	3	-0,111	,84315236873	] -0,303 ; 0,081 [
	4	-0,111	,84378891278	] -0,302 ; 0,081 [
	5	0,194	,04396892229	] 0,002 ; 0,386 [
	6	-0,115	,80406886259	] -0,306 ; 0,077 [
	7	0,185	,07025166069	] -0,006 ; 0,377 [
	8	0,047	,99999076801	] -0,145 ; 0,239 [
	9	0,118	,77036534811	] -0,074 ; 0,309 [
	10	0,042	,99999845155	] -0,15 ; 0,233 [
	11	-0,123	,70301402991	] -0,315 ; 0,069 [
	12	0,466	,00000000000	] 0,274 ; 0,657 [
	13	0,238	,00242175638	] 0,046 ; 0,43 [
	14	0,263	,00035569337	] 0,071 ; 0,454 [
	15	0,104	,90476147963	] -0,088 ; 0,295 [

	16	0,328	,00000110027	] 0,136 ; 0,519 [
	17	0,149	,34951413783	] -0,042 ; 0,341 [
	18	0,253	,00078734507	] 0,061 ; 0,444 [
2	3	-0,209	,01800191935	] -0,4 ; -0,017 [
	4	-0,209	,01807740819	] -0,4 ; -0,017 [
	5	0,096	,94842621311	] -0,096 ; 0,288 [
	6	-0,213	,01410308293	] -0,404 ; -0,021 [
	7	0,088	,97798170668	] -0,104 ; 0,279 [
	8	-0,051	,99997404768	] -0,242 ; 0,141 [
	9	0,020	,99999999999	] -0,172 ; 0,211 [
	10	-0,056	,99989470750	] -0,248 ; 0,136 [
	11	-0,221	,00805860215	] -0,413 ; -0,029 [
	12	0,368	,00000001983	] 0,176 ; 0,56 [
	13	0,140	,47056132970	] -0,052 ; 0,332 [
	14	0,165	,19138107022	] -0,027 ; 0,357 [
	15	0,006	1,00000000000	] -0,186 ; 0,197 [
	16	0,230	,00433319257	] 0,038 ; 0,422 [
	17	0,052	,99996629470	] -0,14 ; 0,243 [
	18	0,155	,28706307919	] -0,037 ; 0,347 [
3	4	0,000	1,00000000000	] -0,192 ; 0,192 [
	5	0,305	,00000940676	] 0,113 ; 0,496 [
	6	-0,004	1,00000000000	] -0,195 ; 0,188 [
	7	0,296	,00002016407	] 0,105 ; 0,488 [
	8	0,158	,25414382374	] -0,034 ; 0,35 [
	9	0,229	,00476120426	] 0,037 ; 0,42 [
	10	0,153	,31148721654	] -0,039 ; 0,344 [
	11	-0,012	1,00000000000	] -0,204 ; 0,179 [
	12	0,577	,00000000000	] 0,385 ; 0,768 [
	13	0,349	,00000013887	] 0,157 ; 0,54 [
	14	0,374	,00000001098	] 0,182 ; 0,565 [
	15	0,214	,01245842050	] 0,023 ; 0,406 [
	16	0,439	,00000000001	] 0,247 ; 0,63 [
	17	0,260	,00043123779	] 0,069 ; 0,452 [
	18	0,364	,00000003092	] 0,172 ; 0,555 [
4	5	0,305	,00000946361	] 0,113 ; 0,496 [
	6	-0,004	1,00000000000	] -0,196 ; 0,188 [
	7	0,296	,00002028337	] 0,105 ; 0,488 [
	8	0,158	,25480798153	] -0,034 ; 0,35 [
	9	0,228	,00478342653	] 0,037 ; 0,42 [
	10	0,153	,31223791376	] -0,039 ; 0,344 [
	11	-0,012	1,00000000000	] -0,204 ; 0,179 [
	12	0,577	,00000000000	] 0,385 ; 0,768 [
	13	0,349	,00000013979	] 0,157 ; 0,54 [
	14	0,374	,00000001106	] 0,182 ; 0,565 [
	15	0,214	,01251244688	] 0,023 ; 0,406 [
	16	0,438	,00000000001	] 0,247 ; 0,63 [
	17	0,260	,00043352828	] 0,069 ; 0,452 [
	18	0,364	,00000003113	] 0,172 ; 0,555 [
5	6	-0,309	,00000663543	] -0,5 ; -0,117 [

	7	-0,008	1,00000000000	] -0,2 ; 0,183 [
	8	-0,147	,38254086272	] -0,338 ; 0,045 [
	9	-0,076	,99493096164	] -0,268 ; 0,115 [
	10	-0,152	,31793796171	] -0,344 ; 0,04 [
	11	-0,317	,00000302965	] -0,509 ; -0,125 [
	12	0,272	,00016859877	] 0,08 ; 0,463 [
	13	0,044	,99999669979	] -0,148 ; 0,236 [
	14	0,069	,99849479092	] -0,123 ; 0,26 [
	15	-0,090	,97041396962	] -0,282 ; 0,101 [
	16	0,134	,55787031685	] -0,058 ; 0,325 [
	17	-0,044	,99999608445	] -0,236 ; 0,147 [
	18	0,059	,99979814831	] -0,133 ; 0,25 [
6	7	0,300	,00001432629	] 0,108 ; 0,492 [
	8	0,162	,21773963529	] -0,03 ; 0,354 [
	9	0,232	,00363121600	] 0,041 ; 0,424 [
	10	0,156	,26996898862	] -0,035 ; 0,348 [
	11	-0,008	1,00000000000	] -0,2 ; 0,183 [
	12	0,580	,00000000000	] 0,389 ; 0,772 [
	13	0,353	,00000009474	] 0,161 ; 0,544 [
	14	0,377	,00000000737	] 0,186 ; 0,569 [
	15	0,218	,00968138769	] 0,027 ; 0,41 [
	16	0,442	,00000000001	] 0,251 ; 0,634 [
	17	0,264	,00031709632	] 0,072 ; 0,456 [
	18	0,367	,00000002089	] 0,176 ; 0,559 [
7	8	-0,138	,49450224807	] -0,33 ; 0,053 [
	9	-0,068	,99872942036	] -0,259 ; 0,124 [
	10	-0,144	,42236836222	] -0,335 ; 0,048 [
	11	-0,309	,00000664336	] -0,5 ; -0,117 [
	12	0,280	,00008266985	] 0,089 ; 0,472 [
	13	0,052	,99995806431	] -0,139 ; 0,244 [
	14	0,077	,99418123065	] -0,114 ; 0,269 [
	15	-0,082	,98889906638	] -0,274 ; 0,11 [
	16	0,142	,44190920367	] -0,049 ; 0,334 [
	17	-0,036	,99999984027	] -0,228 ; 0,156 [
	18	0,067	,99886272811	] -0,124 ; 0,259 [
8	9	0,070	,99796888263	] -0,121 ; 0,262 [
	10	-0,005	1,00000000000	] -0,197 ; 0,186 [
	11	-0,170	,15034025748	] -0,362 ; 0,021 [
	12	0,419	,00000000009	] 0,227 ; 0,61 [
	13	0,191	,05266065128	] -0,001 ; 0,382 [
	14	0,216	,01156289837	] 0,024 ; 0,407 [
	15	0,056	,99988516591	] -0,135 ; 0,248 [
	16	0,281	,00008056344	] 0,089 ; 0,472 [
	17	0,102	,91343490054	] -0,089 ; 0,294 [
	18	0,206	,02193989977	] 0,014 ; 0,397 [
9	10	-0,076	,99523666784	] -0,268 ; 0,116 [
	11	-0,241	,00195983014	] -0,432 ; -0,049 [
	12	0,348	,00000014925	] 0,156 ; 0,54 [
	13	0,120	,73920835172	] -0,071 ; 0,312 [

	14	0,145	,40459055006	] -0,047 ; 0,337 [
	15	-0,014	1,00000000000	] -0,206 ; 0,178 [
	16	0,210	,01653949048	] 0,018 ; 0,402 [
	17	0,032	,99999997792	] -0,16 ; 0,223 [
	18	0,135	,53992319611	] -0,057 ; 0,327 [
10	11	-0,165	,19103338012	] -0,357 ; 0,027 [
	12	0,424	,00000000005	] 0,232 ; 0,616 [
	13	0,196	,03878712629	] 0,004 ; 0,388 [
	14	0,221	,00808159912	] 0,029 ; 0,413 [
	15	0,062	,99961540611	] -0,13 ; 0,253 [
	16	0,286	,00005078802	] 0,094 ; 0,478 [
	17	0,108	,87267020938	] -0,084 ; 0,299 [
	18	0,211	,01564395934	] 0,019 ; 0,403 [
11	12	0,589	,00000000000	] 0,397 ; 0,78 [
	13	0,361	,00000004025	] 0,169 ; 0,553 [
	14	0,386	,00000000303	] 0,194 ; 0,577 [
	15	0,227	,00543766300	] 0,035 ; 0,418 [
	16	0,451	,00000000001	] 0,259 ; 0,642 [
	17	0,273	,00015829947	] 0,081 ; 0,464 [
	18	0,376	,00000000869	] 0,184 ; 0,567 [
12	13	-0,228	,00500900697	] -0,419 ; -0,036 [
	14	-0,203	,02565172984	] -0,395 ; -0,011 [
	15	-0,362	,00000003570	] -0,554 ; -0,171 [
	16	-0,138	,49865721917	] -0,33 ; 0,054 [
	17	-0,316	,00000325220	] -0,508 ; -0,125 [
	18	-0,213	,01365145708	] -0,405 ; -0,021 [
13	14	0,025	,99999999959	] -0,167 ; 0,216 [
	15	-0,134	,54939712993	] -0,326 ; 0,057 [
	16	0,090	,97224757086	] -0,102 ; 0,281 [
	17	-0,088	,97592550714	] -0,28 ; 0,103 [
	18	0,015	1,00000000000	] -0,177 ; 0,206 [
14	15	-0,159	,24290662512	] -0,351 ; 0,033 [
	16	0,065	,99925473408	] -0,127 ; 0,257 [
	17	-0,113	,81914773881	] -0,305 ; 0,078 [
	18	-0,010	1,00000000000	] -0,202 ; 0,182 [
15	16	0,224	,00646250412	] 0,032 ; 0,416 [
	17	0,046	,99999377988	] -0,146 ; 0,238 [
	18	0,149	,35273923899	] -0,042 ; 0,341 [
16	17	-0,178	,10229892915	] -0,37 ; 0,013 [
	18	-0,075	,99582133580	] -0,267 ; 0,117 [
17	18	0,103	,90664610527	] -0,088 ; 0,295 [

Cuadro N°30.- Prueba T con respecto a los valores testigo

Tratamiento	p-valor
1	0,3945814969
2	0,1410613748
3	0,0002914316
4	0,0002894658
5	0,0008691104
6	0,0004760870
7	0,0001054877
8	0,6758873994
9	0,0417379649
10	0,7309250003
11	0,0074760398
12	0,000003530
13	0,0196096020
14	0,0109883800
15	0,6217961905
16	0,0005563206
17	0,2814444773
18	0,0155729524

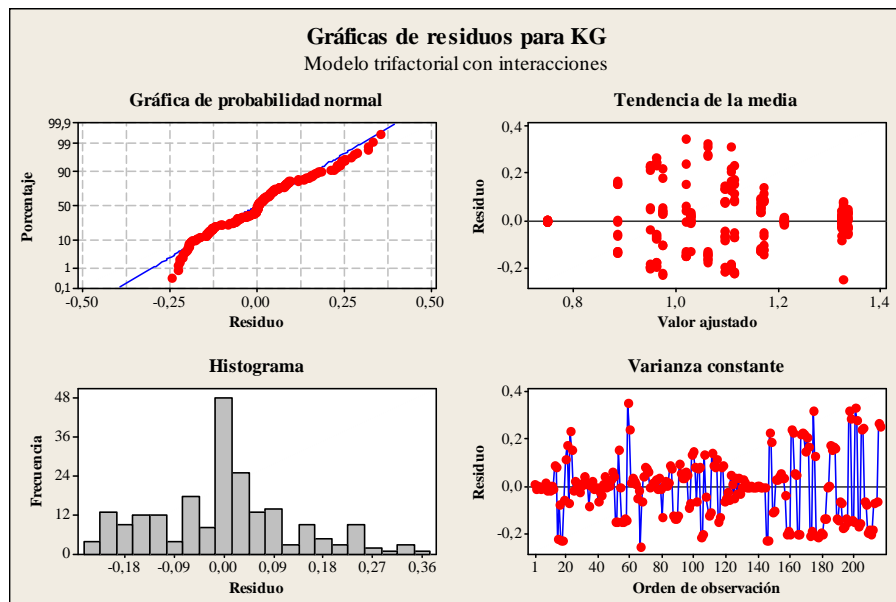


Figura N°25.- Gráficas de residuos para KG de madera con pretratamiento

8. ANEXOS

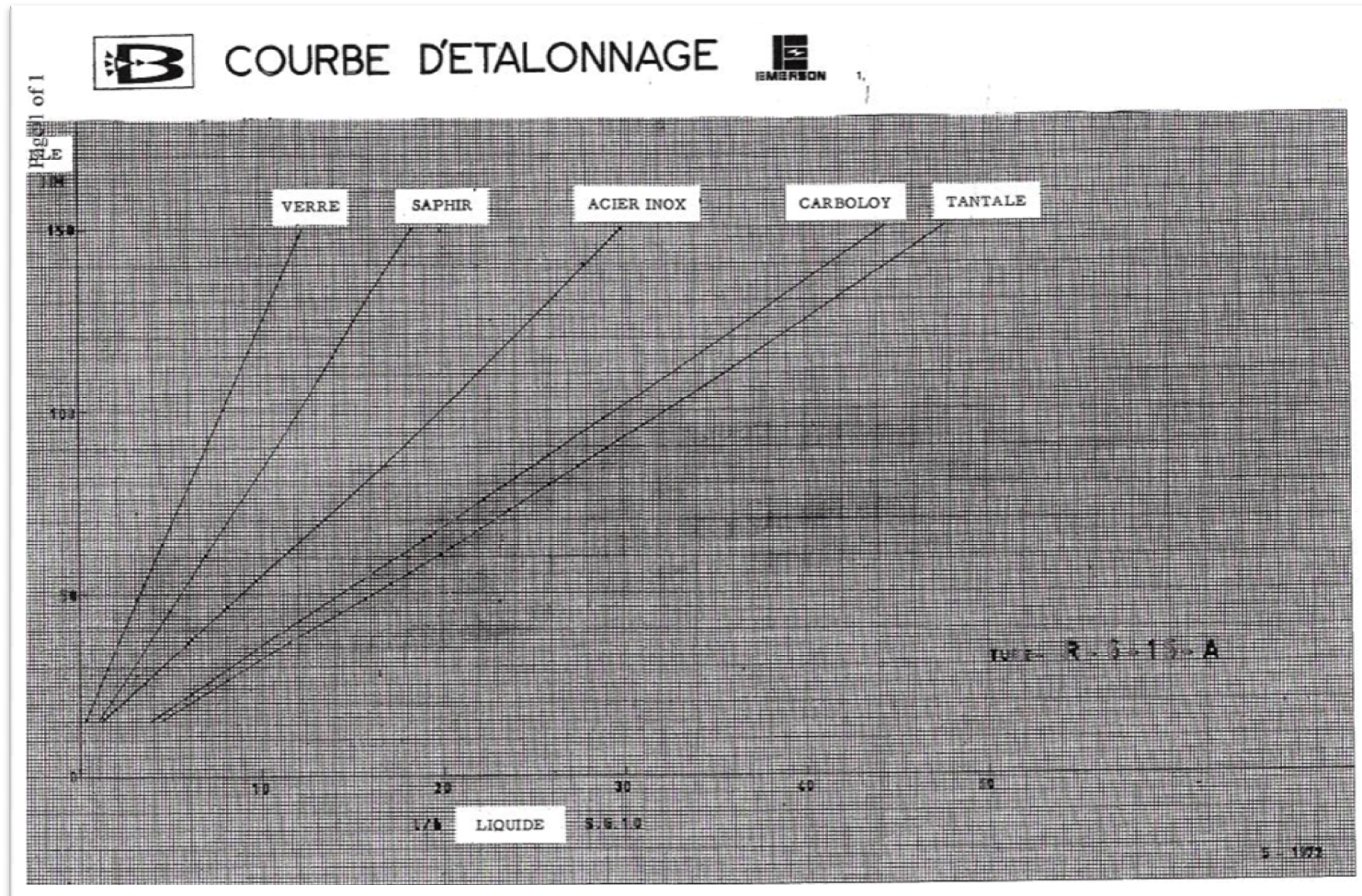


Figura N°26.- Tabla de caudal gaseoso tubo R-6-15-A.

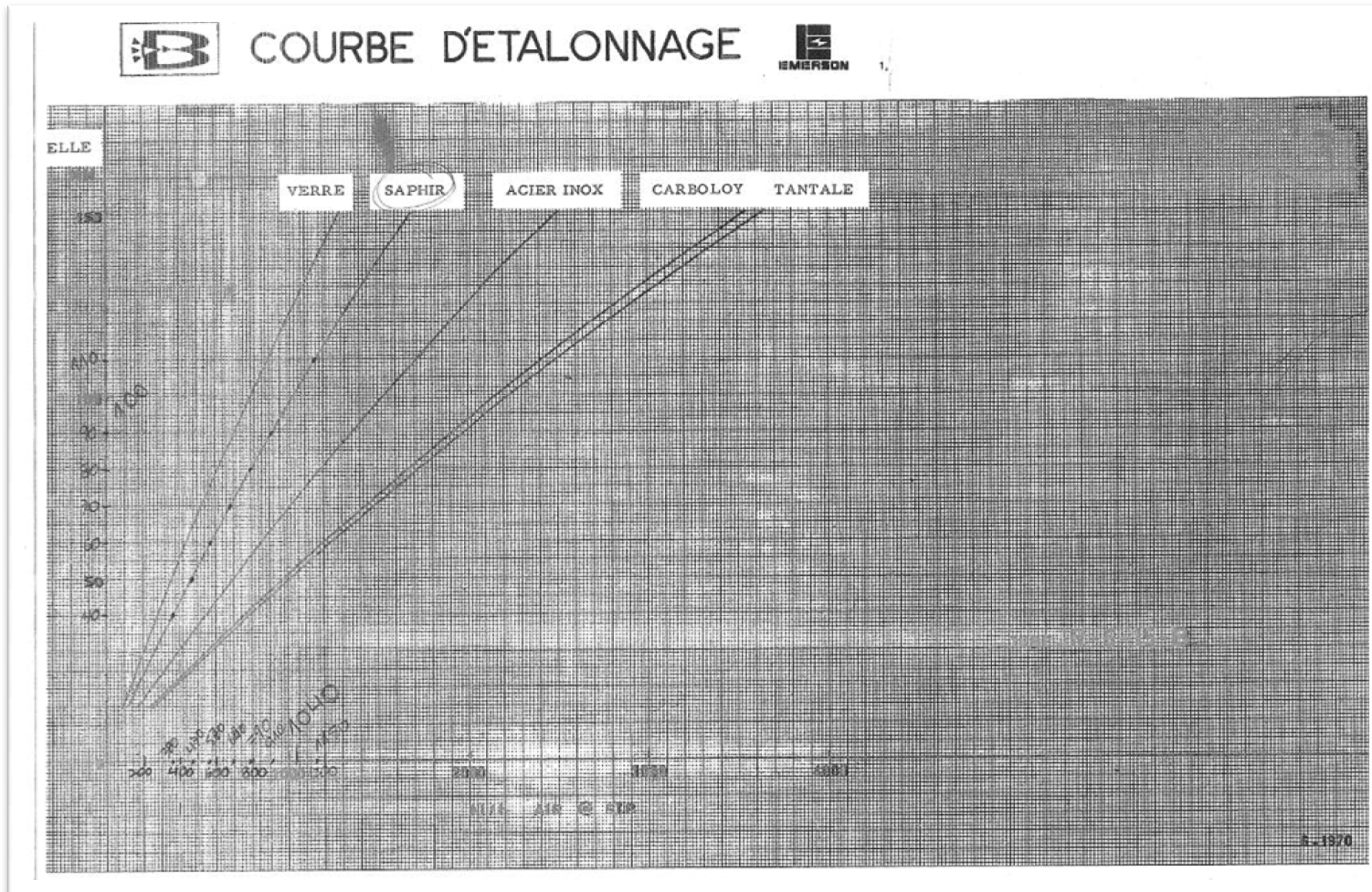


Figura N°27.- Tabla de caudal gaseoso tubo R-6-15-B.