



Universidad Austral de Chile  
Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto de la mezcla de *Pinus radiata* y especies nativas  
sobre la expansión lineal en tableros OSB**

Patrocinante:  
Sr. Hernán Poblete W.

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

**CLAUDIA ANDREA ZAPATA NORAMBUENA**

VALDIVIA  
2005

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Hernán Poblete Wilson.	_____
Informante:	Sr. Carlos Riquelme Ruiz.	_____
Informante:	Sr. Héctor Cuevas D.	_____

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

---

Sr. Hernán Poblete Wilson

*Dedicada especialmente a mi padre, que en vida me enseñó a afrontar todo con valor y desde el cielo me sigue guiando día a día; a mi madre que me enseñó que las metas con esfuerzo y dedicación se consiguen y a mi hermana por todo su apoyo y por regalarme mis dos soles que alumbran mis días Franci y Lalo.*

## **Agradecimientos**

Mi mayor agradecimiento a mi abuelita Kitty, tía Alicia y Marcela por todo su apoyo, comprensión y cariño.

A mis amigas Gilda, Rocío, Anita y Claudia por su paciencia, apoyo, por compartir conmigo los momentos buenos y por hacerme mas fáciles los momentos difíciles.

A todo el personal no académico del Instituto de Tecnología de Productos Forestales y en forma especial todo mi agradecimiento y cariño a María Eugenia, por entregarme todo su apoyo, cariño, paciencia, comprensión y por cada uno de sus consejos, a la Sra. Angélica Aguilar por ayudarme a crecer y apoyarme en todo momento.

A todos los profesores del Instituto de Tecnología de Productos Forestales, por entregarme las herramientas para poder afrontar el mundo laboral, además de sus consejos oportunos, a mi profesor patrocinante Sr. Hernán Poblete por su apoyo y consejos.

A la empresa Louisiana Pacific S.A. por aportar los materiales necesarios para realizar este trabajo y a la empresa Oxiquim S.A., por permitirme utilizar sus instalaciones.

A todos los que de una u otra forma me ayudaron, me dieron palabras de apoyo para lograr terminar esta etapa de mi vida, los cuales si los nombrara a más de uno podría olvidar.

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Pagina</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Aspectos generales del producto</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Fabricación de Tableros OSB</b>	<b>3</b>
2.2.1 Patio de recepción y almacenamiento de materias primas	3
2.2.2 Descortezado de madera	3
2.2.3 Viruteado.	3
2.2.4 Almacenamiento de viruta verde.	4
2.2.5 Secado de las hojuelas	4
2.2.6 Ciclón de separación	4
2.2.7 Malla de tamizado rotatorio.	4
2.2.8 Silo de almacenamiento de hojuelas secas.	4
2.2.9 Mezcladoras.	4
2.2.10 Formadoras	5
2.2.11 Prensado.	5
2.2.12 Escuadrado	5
2.2.13 Terminación y embalaje	5
<b>2.3 Estabilidad dimensional en madera sólida</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Estabilidad dimensional en tableros</b>	<b>7</b>
<b>2.5 Expansión lineal y variable que afectan</b>	<b>8</b>
<b>2.6 Hinchamiento y variables que afectan</b>	<b>9</b>
<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Materiales</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Equipo Experimental</b>	<b>10</b>
<b>3.3 METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
3.3.1 Evaluación de Expansión total al vacío	16
3.3.2 Evaluación de Expansión lineal en Cámara de Clima	16
3.3.3 Hinchamiento	17
3.3.4 Humedad de equilibrio	17
3.3.5 Análisis estadístico	17
<b>4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>4.1 Resultados y Análisis</b>	<b>18</b>
4.1.1 Expansión Lineal	21
4.1.2 Hinchamiento	24
4.1.4 Humedad de equilibrio	25
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>27</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>28</b>

## Resumen ejecutivo

El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de las mezclas de pino con especies nativas sobre las variaciones dimensionales de los tableros OSB.

Se trabajó con tableros fabricados a nivel de laboratorio, en conjunto con la empresa Louisiana Pacific S.A. y la empresa Oxiquim S.A.

Se utilizó un método de extracción de probetas a cada tablero, las cuales fueron sometidas a un ciclo de climatizado con humedades relativas del aire entre 40% y 90%, manteniéndose la temperatura constante en 20°C. La duración por cada clima fue aproximadamente de 10 días, una vez transcurrido este tiempo se determinó la expansión lineal perpendicular, el hinchamiento y las humedades de equilibrio para cada probeta, en cada una de las humedades relativas utilizadas. Después del ciclo de climatizado se determinó la expansión lineal perpendicular total bajo un proceso de vacío – presión.

Se comprobó que las dimensiones y las humedades de equilibrio aumentaron, a medida que se incrementó la humedad relativa del aire.

El tablero que presentó menor variación dimensional fue la mezcla 50% pino 50% nativo, a nivel de todos los climas y obteniendo una expansión lineal perpendicular total de 0,454%.

Palabras claves: tableros OSB, expansión lineal, hinchamiento, humedad de equilibrio.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La industria de los tableros ha experimentado varios cambios, con el fin de incorporar al mercado productos de calidad a menor costo. Entre estos productos se encuentran los tableros OSB (Oriented Strand Board).

Este tipo de tableros son producidos a partir de hojuelas cortadas tangencialmente y orientadas en forma paralela y perpendicular al eje, lo que le da propiedades similares al tablero contrachapado.

En Chile existe una planta que fabrica tableros OSB (Oriented Strand Board), perteneciente a Louisiana Pacific S.A., esta empresa produce los tableros con mezclas de especies nativas, *Pinus radiata*, álamo y eucaliptos, siendo la combinación del pino y nativas una de las más importantes.

Como todo producto realizado con madera, al someter los tableros a incrementos de la humedad relativa del aire, estos sufren cambios dimensionales. Estos cambios se dan como una expansión lineal en el plano del tablero y como hinchamiento en el espesor.

Una de las razones por la cual los tableros sufren cambios dimensionales es la mezcla de especies de madera que se utilicen en la fabricación, ya que la madera al ser sometida a diferentes condiciones climáticas sus dimensiones varían.

Es por esto que el principal objetivo de este estudio es determinar la influencia de la mezcla de especies nativas con pino sobre expansión lineal de los tableros, bajo un ciclo de climatizado. Además se determinó la influencia de la composición de la mezcla sobre el hinchamiento y la humedad de equilibrio.

## **2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. - Aspectos generales del producto**

Los tableros OSB (Oriented Strand Board) son paneles de madera reconstituida, producidos a partir de hojuelas obtenidas por un corte tangencial de la madera, las cuales luego de ser secadas, encoladas y prensadas dan como resultado un tablero, apto para uso estructural ya sea en el interior como en el exterior de las viviendas (Manual de control de calidad QMS, 2003).

La principal razón por la cual se utiliza de forma estructural en la construcción es por que posee características similares a las del tablero contrachapado y esto se debe a la orientación en capas cruzadas lo cual le da mayor estabilidad al tablero.

Otra ventaja del OSB sobre otros tipos de tableros, es el bajo costo de producción que posee. Esto se debe a que en la fabricación se utiliza materia prima de menor calidad, con mezcla de especies y diámetros. Además, algunas plantas reprocesan residuos de aserraderos.

El OSB, utiliza adhesivos de tipo fenol formaldehído y MDI, los cuales no producen emanaciones de formaldehído al ambiente una vez que es instalado el producto.

Los tableros OSB poseen muy buenas características físicas y mecánicas. A continuación se nombran algunas de las más importantes:

- Son fáciles de manipular, perforar, cortar y perfilar pudiendo instalarse con herramientas convencionales y sencillas.
- Las resistencias a la tracción, compresión y flexión son tan altas que permiten su uso estructural.
- Se pueden fabricar en un rango amplio de espesores que van desde 6 mm hasta 38 mm.
- El proceso de fabricación es de bajo impacto ambiental. La actual tecnología permite un buen control de las emisiones al medio ambiente. Además las resinas utilizadas, fenol formaldehído y MDI, son completamente polimerizadas en el proceso de prensado, lo que evita emisiones futuras de gases perjudiciales para la salud.

A este tipo de tableros se les puede dar diversos usos, entre los cuales se pueden destacar su uso en revestimiento de exteriores de viviendas, en pisos, en recubrimientos de techumbres y muros. También se pueden utilizar en fabricación de embalajes, estructuras de muebles, cierres perimetrales de construcciones, estanterías de locales comerciales, aplicaciones decorativas y muchos otros usos en la industria.

## **2.2. - Proceso de fabricación**

A continuación se hará una breve descripción de las distintas etapas que comprenden el proceso de fabricación de un OSB en la planta de Louisiana Pacific Chile en Panguipulli.

### **2.2.1-Patio de recepción y almacenamiento de materias primas.**

Corresponde a la recepción, almacenamiento y entrega de materia prima a la planta, la cual es recepcionada en metros ruma (2.44 m<sup>3</sup> stereo). Estos metros rumas están compuestos principalmente de maderas duras con densidades de 550 a 600 Kg. /m<sup>3</sup>, además de metros rumas de pino y álamo cuyas densidades varían entre 350 a 400 Kg. /m<sup>3</sup>, los que una vez recepcionados, son entregados a la planta de acuerdo a un programa de rotación de stock.

### **2.2.2- Descortezado de madera.**

Los trozos provenientes de la cancha de almacenamiento, son pasados a un descortezador de tipo tambor. El mecanismo de descortezado consiste en el avance y rotación de los trozos dentro de un cilindro de acero, el cual está provisto en su superficie interna de estrías longitudinales, que sumadas a la rotación del tambor y la fricción de los trozos, da como resultado la eliminación de la corteza, la que es retirada mediante un sistema de recolección y transporte a un sector de almacenamiento, para posteriormente ser utilizado como combustible.

La eliminación de la corteza en el proceso de fabricación responde a que su incorporación en el proceso provocaría un aumento en los consumos de resina y una disminución en las propiedades físico mecánicas del producto, lo cual se traduce en un desmedro de la calidad y costo final. No obstante, su uso alternativo como combustible permite compensar el costo del proceso de descortezado y la transformación de un residuo en un insumo más.

### **2.2.3-Viruteado.**

La máquina viruteadora está compuesta por un disco rotatorio con cuchillos, que avanza girando a alta velocidad sobre la madera, la que dispuesta de manera perpendicular al avance del carro permite la producción de hojuelas tangenciales.

Especial importancia tiene en esta etapa, la manutención del equipo así como el correcto afilado de cuchillos y disposición de estos, lo que busca asegurar el mayor porcentaje de hojuelas producida dentro del rango de calidad y determina el rendimiento de la materia prima.

La dimensión de las hojuelas es de aproximadamente 7,5 cm de largo, su ancho varía entre 0,6 – 3,81 cm y su espesor varían entre 0,3 – 0,7 mm.

#### **2.2.4- Almacenamiento de viruta verde.**

Una vez producida la hojuela es transportada a un silo de almacenamiento. Este tiene una capacidad de 140 m<sup>3</sup> y su diseño asegura una adecuada rotación de la hojuela.

#### **2.2.5- Secado de las hojuelas.**

El secado de las hojuelas, se realiza en un secador de tipo tambor. Aquí las hojuelas entran con un contenido de humedad inicial de 80 a 150 % son arrastradas por un flujo de aire caliente a través de un triple paso interior, movimiento en el cual entregan gradualmente su contenido de humedad, hasta llegar a un rango entre 3 – 7 % (bms). Este rango asegura una buena reacción de la resina en el proceso de prensado.

El secador de hojuelas puede funcionar con dos tipos de quemadores, uno funciona con gas natural y el otro funciona con desechos de hojuelas secas proveniente de las etapas posteriores.

#### **2.2.6-Ciclón de separación.**

Una vez producido el proceso de secado, la corriente de aire húmedo y las hojuelas secas pasan a través de un ciclón primario, aquí la diferencia de presión interior del ciclón y sumado al peso específico de las hojuelas, logran decantar estas últimas y enviarlas a la etapa siguiente de tamizado. Por otra parte el aire húmedo rescatado es enviado a un sistema de precipitación electrostático, donde son separadas las impurezas del aire para luego ser entregado a la atmósfera.

#### **2.2.7-Malla de tamizado rotatorio.**

En las mallas de tamizado, se produce la separación de las hojuelas, las que se ocuparan en el tablero y las de menor dimensión (finos) serán enviadas a un sistema de molienda, molino de martillo, para su posterior almacenamiento en un silo antes de ser usados como combustible.

#### **2.2.8-Silo de almacenamiento de hojuelas seca.**

Las hojuelas provenientes del tamizado son almacenadas en un silo de hojuelas secas, el cual posee una capacidad de 70 m<sup>3</sup>, y que tiene la función de dosificar el material a la etapa siguiente de aspersion de resinas. Existen dos silos de almacenamiento de hojuelas secas; de centro y superficie ya que ambas están a distintos contenidos de humedad.

#### **2.2.9-Mezcladoras.**

Las mezcladoras son de tipo tambor rotatorio en cuyo interior se encuentra un eje longitudinal equipado de cabezales de aspersion. Existen cabezales para la entrega

atomizada de resina, como también para aplicar cera, la cual le entrega una mejor estabilidad dimensional al producto disminuyendo su capacidad de absorción de agua. También es posible adicionar en esta etapa (dependiendo del tipo de producto) borato de zinc, el que entrega al producto una mejor resistencia al ataque de bacterias, hongos e insectos.

### **2.2.10- Formadoras.**

Las hojuelas luego de ser bañadas en adhesivo y cera son transportadas a las formadoras. La línea de formación esta compuesta por tres formadoras, dos formadoras de superficie y una de centro. Cada una de estas unidades tiene como objetivo entregar y orientar la cantidad de material necesario para la formación de los tableros.

En el interior de estas máquinas se encuentra un sistema de discos distribuidores, los cuales a medida que reciben las hojuelas las orientan sobre la malla de formación, la orientación alternada de las tres capas de hojuelas define una estructura estable y mecánicamente resistente, lo que le confiere la calidad de estructural al tablero.

### **2.2.11-Prensado.**

El proceso de formación es continuo, lo cual permite preparar la carga de los ocho pisos de la prensa. El prensado se realiza con las siguientes características; el tiempo del ciclo de prensado varia entre 120 y 480 segundos, según el espesor del tablero, la temperatura va desde 200 a 230 °C y la presión específica de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

Dependiendo del tipo de producto a fabricar, se aplica o no una lámina de papel Siding que será adherida por termofusión al tablero.

Luego mediante una torre de ocho pisos se realiza de forma continua el carguío de la prensa. Al mismo tiempo, una torre de descarga retira igual cantidad de unidades de material prensado. De esta forma, una vez concluido el proceso de prensado salen ocho formatos de 2,5 mt \* 5,0 mt.

### **2.2.12-Escuadrado.**

Los ocho formatos de 2,5 mt \* 5,0 mt son seccionados longitudinalmente y transversalmente para dar como producto terminado cuatro tableros (por piso de la prensa), de 1,22 mt \* 2,44 mt, es decir 32 tableros por cada prensada.

### **2.2.13-Terminación y embalaje.**

Una vez dimensionados los tableros estos son llevados (en paquetes normalizados en altura) al área de terminación, donde una vez controlada su calidad, espesor y según tipo de producto son pintados los cantos, etiquetados y timbrados para su posterior despacho. (Manual de control de calidad QMS, 2003).

### **2.3. Estabilidad dimensional y variables que la afectan.**

En este punto se hará una revisión breve de los aspectos más importantes que pueden afectar las propiedades dimensionales de los tableros.

#### **2.3.1- Estabilidad dimensional en madera sólida.**

Para comprender el comportamiento de la madera en cuanto a su estabilidad dimensional, se debe tener presente que es un material sólido, poroso, heterogéneo, anisótropo, e higroscópico.

De acuerdo con Díaz-vaz (2003) el carácter sólido de la estructura lignocelulósica lo proporcionan las células que la componen. Las células están formadas por una pared celular y un lumen. Por la existencia de los lúmenes y de los espacios intercelulares, la madera es un material poroso.

La característica de material heterogéneo, tan típica en la madera, proviene de las células vegetales que la constituyen y que varían en cuanto a la forma, dimensión, orientación, composición química y ultra-estructura. La heterogeneidad de la madera se manifiesta tanto en el plano transversal, como longitudinal radial y longitudinal tangencial (Díaz-vaz, 2003).

La madera es anisótropa, vale decir, presenta un comportamiento desigual en el plano transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial. Esta característica se manifiesta en muchos de los productos fabricados con madera (Díaz-vaz, 2003).

La madera al estar compuesta en un 50% de celulosa, el cual es un material poroso e higroscópico, le entrega esta propiedad a la madera. Esta característica corresponde a la capacidad de absorber o perder humedad en función de la humedad existente en el ambiente, lo cual le produce cambios dimensionales a este material.

Los cambios de humedad en la madera se traducen en contracciones o hinchamientos. La contracción en la madera, es una propiedad que se manifiesta durante el secado en cámaras, o por pérdida de humedad con el ambiente, lo que provoca una reducción de las dimensiones.

Las contracciones en una sección transversal no son uniformes. Las contracciones radiales, es decir, en el sentido del radio del árbol, son menores que las contracciones tangenciales o sea, en el sentido de las tangentes a los anillos de crecimiento. Proporcionalmente, como un promedio de todas las especies, la contracción en las tres direcciones principales (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (Pérez, 1983).

Se debe tener en cuenta que la magnitud de las variaciones dimensionales es específica de cada especie. Las maderas más relevantes en el caso de los tableros OSB son Pino insigne, Roble, Coigüe, presentando dichas especies contracciones volumétricas aproximadas de 11,2 %, 12,9% y 18,2% respectivamente (Pérez, 1978). La inestabilidad dimensional es una de las características más indeseables de la madera y es la responsable en gran medida, de los inconvenientes y dificultades que se encuentran con ella en la construcción.

### **2.3.2.- Estabilidad dimensional en tableros.**

Los tableros son higroscópicamente y dimensionalmente inestables cuando están expuestos al vapor de agua o a agua líquida. Esto se debe a que el material con el que son fabricados (partículas, fibras, hojuelas) posee propiedades higroscópicas similares a la madera sólida. Estos al absorber humedad desde la atmósfera aumentan su volumen y sin embargo al estar secos no retornan a su estado original (Kelly, 1977).

Se han realizado varios tratamientos para reducir la inestabilidad dimensional de los tableros. Los primeros estudios se realizaron en madera sólida, obteniéndose mejoras sustanciales. Estos tratamientos químicos evitan la pudrición, absorción de humedad y retardan la acción del fuego (Youngquist, *et al.* 1986).

Uno de los tratamientos aplicados es la Acetilación, que reemplaza los grupos hidroxilos de la madera por grupos acetilos, los cuales son menos higroscópicos.

Youngquist, *et al* (1986), realizaron un tratamiento químico con anhídrido acético y xileno, donde ocuparon partículas y madera sólida de abedul y pino oregón. Las mediciones se realizaron bajo inmersión de agua por un tiempo de 10 días y por exposición a 90% de humedad relativa en cámara de clima por 20 días. Los resultados obtenidos fueron motivantes, las partículas acetiladas de 15% a 20% con respecto a su peso, absorbieron 50% menos líquido y redujeron su hinchamiento en el espesor hasta en un 70% con respecto a las probetas de control. Los resultados obtenidos en una cámara de clima fueron similares a los de inmersión, las partículas acetiladas se hincharon en el espesor en un 5% respecto de su peso anhidro comparado con las probetas de control sin acetilar que se hincharon en un 20% respecto de su peso anhidro.

Los tratamientos como la acetilación de las partículas, son prometedores, pero aun no aplicables a nivel industrial.

A diferencia de los distintos tipos de tableros (partículas, fibras), los OSB sufren menores cambios dimensionales. Esto quiere decir que su estabilidad dimensional, el grado en que un material conserva sus dimensiones al quedar expuesto a distintas condiciones de temperatura y humedad, es mayor y esto se debe a la orientación que se le da a las capas tanto perpendiculares como paralelas al eje en la etapa de formación, produciendo un mejoramiento en todas las propiedades del tablero.

### **2.3.3.- Expansión lineal y variables que la afectan.**

Los tableros OSB, sufren un aumento de las dimensiones en el sentido paralelo y perpendicular al eje.

El aumento de la longitud o ancho se denomina Expansión lineal. En los tableros OSB es evaluada generalmente midiendo el aumento de la longitud, provocado por un cambio en la condición de la humedad (APA, 1994).

La mayor expansión se produce en el sentido perpendicular al eje del tablero. Esto se debe a que los tableros salen de la línea de producción con una humedad de 2 a 3% y son expuestos a humedades mayores cuando se instalan en las construcciones, por lo tanto absorben humedad desde el ambiente produciéndose un hinchamiento en el espesor y la expansión lineal paralela y perpendicular. Para minimizar este efecto los tableros se deben climatizar antes de ser entregados a los clientes.

También influye sobre la expansión lineal la densidad de las especies que se utilicen en la fabricación del tablero. Si se fabrica el tablero con especies nativas como el Roble y el Coigüe, que poseen una alta densidad, se está incorporando madera que sufre cambios dimensionales mayores, a las de otras especies de menor densidad, viéndose esto reflejado en la estabilidad dimensional de los tableros.

Debe tenerse presente que la contracción tangencial es la que tiene directa relación con los cambios dimensionales en el ancho del tablero y con la expansión lineal que se determina en laboratorio.

La densidad de la madera no solo afecta las propiedades del tableros, sino que además influye sobre el proceso en general (Poblete, 2001).

Cuando se cambia la densidad de la madera, en el proceso es necesario realizar un ajuste en la compactación de la estera si se desea mantener constante la densidad final del tablero. Sin embargo, las características de los tableros producidos con diferentes densidades de madera y grado de compactación, serán distintas, aun cuando la densidad del tableros permanezca constante (Kelly, 1977).

La densidad del tablero es otro factor que influye en los cambios dimensionales, esto esta directamente relacionado con la razón de compresión (RC), que corresponde al cociente entre la densidad del tablero y la densidad de la madera. Una mayor compresión permite un mejor contacto entre las partículas y una mayor eficiencia del adhesivo. Sin importar la densidad de la especie empleada, la razón de compresión siempre debe ser mayor a 1. Cuando la RC es menor a 1, el tablero tiene una densidad menor a la densidad de la madera utilizada y no habrá compactación del material. En general es recomendable lograr valores entre 1,5 y 2,2 (Poblete, 2001).

Cuando se fabrican tableros con la misma especie y diferentes densidades finales del tablero, se puede observar que los tableros de densidad mayor sufren mayores cambios dimensionales. Esto se puede deber a que sufre una mayor compactación, lo cual provoca que al ser sometidos a distintas condiciones climáticas, liberan

mayores tensiones, por lo tanto se producen mayores cambios dimensionales en el tablero.

#### **2.4.- Hinchamiento y variable que la afectan**

Los tableros al ser sometidos a ambientes cada vez más húmedos se producen en estos cambios dimensionales mayores.

El hinchamiento refleja la estabilidad dimensional del espesor del tablero ante variaciones de las condiciones de humedad ambiental. El aumento del espesor se expresa como porcentaje y se define como hinchamiento. (Poblete, 2001).

Moslemi (1974), señala que el hinchamiento en los tableros puede ser tres veces mayor al de la madera.

Kollmann *et al.* (1975), compararon gráficamente la estabilidad dimensional de los tableros de partículas con la de la madera sólida de pino encontrando que el hinchamiento en el espesor del tablero fue mucho mayor que el hinchamiento tangencial de la madera sólida.

Esta variable entrega información sobre la efectividad de los hidrófobos que se le agregan al tablero, ya que estos retardan la absorción de agua, cuando estos están siendo sometidos a diferentes contenidos de humedad.

El hinchamiento también se ve afectado por la densidad de la madera, ya que está relacionado con las contracciones radiales de esta.

### **3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Para lograr los objetivos planteados se utilizaron los siguientes materiales y metodología que a continuación se detallan.

#### **3.1.- Materiales**

Madera: hojuelas de especies nativas y de pino.

Adhesivos: resina fenólica para las capas superficiales y MDI para la capa de centro.

Tableros: se fabricaron 25 tableros en total, con diferentes mezclas de especies, como se indica en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Mezclas para fabricación tableros.

<b>Pino</b>	<b>Nativo</b>	<b>Repeticiones</b>
100%	0%	5
75%	25%	5
50%	50%	5
25%	75%	5
0%	100%	5

La fabricación de los tableros se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Resina Superficie Fenólica (3,8%, diluida al 43%).
- Resina Centro MDI (2,0%).
- Espesor 7/16" (11,1mm).
- Densidad 670 Kg. /m<sup>3</sup>.
- Temperatura 210 – 220 °C.
- Tiempo de prensado 3 min.

### **3.2.- Equipos experimentales.**

- Taladro: este se utilizó para realizar las perforaciones de las probetas a una distancia de una pulgada del borde donde son colocados los eyelettes. Estas perforaciones se realizaron con un drill de ¼ de pulgada.



Figura N°1: Taladro.

- Eyelettes: oiales de metal de tamaño superior al espesor de las probetas, los cuales son colocados en las perforaciones de los extremos de la probeta, estos sirven para poder realizar las mediciones siempre en el mismo lugar.



Figura N°2: Eyelettes

- Plataforma de medición: en esta plataforma se colocan las probetas, las cuales son aplastadas para mantenerlas sujetas en el momento de la medición, es accionada por medio de aire a presión de 50 psi.



Figura N°3: Plataforma de medición.

- Dial para medición de expansión lineal: este instrumento sirve para medir cuanto se expande la probeta luego de ser sometida a diferentes humedades. Este instrumento se encuentra calibrado cuando el reloj de medición marca 0.600 pulgadas y tiene una precisión de 0.001 pulgadas.



Figura N°4: Dial medición expansión lineal.

- Estanque de vacío: se utilizó para realizar el tratamiento de expansión lineal total. Este equipo trabaja con una presión de vacío de 30 bar, posee una capacidad de 100 litros y logra una temperatura de 99 °C.



Figura N°5: Estanque de vacío.

- Cámara de climatizado: fue utilizada para climatizar las probetas a diferentes contenidos de humedad. Es una cámara marca Heraeus, modelo HP2 50/s-DV, los rangos de humedad relativa son entre 90-40% con una precisión de  $\pm 3\%$  y la temperatura fluctúa entre 10-45°C y con una precisión  $\pm 3^\circ\text{C}$ .



Figura N°6: Cámara de climatizado.

- Estufa: se utilizó para el secado de las muestras hasta llevarlas a peso anhidro. La marca de esta estufa es Heraeus, modelo UT 20, alcanzando una temperatura de 250°C con una precisión de  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

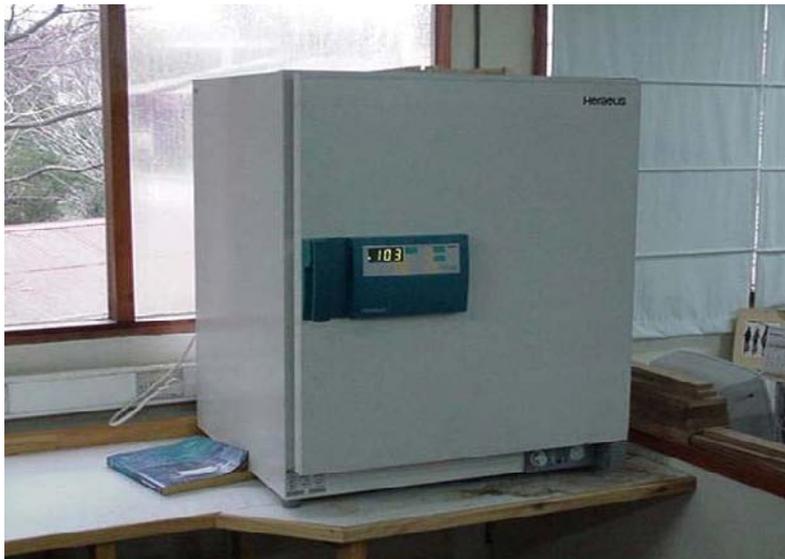


Figura N°7: Estufa.

- Medidor lineal de espesor Mitutoyo: fue utilizado para medir el espesor de las probetas luego de cada clima. Modelo LG 130, conectado a un display digital Mitutoyo, este instrumento posee una precisión de 0.001mm.



Figura N°8: Medidor lineal de espesor Mitutoyo.

- Cajón formador: este consiste en un cajón que en su interior se coloca una reja para poder darle la orientación a las capas del tablero, que mide 40cm \*40cm.



Figura N°9: Cajón formador.

- Prensa: se utilizó para darle el ciclo de prensado requerido por los tableros. Marca Dumont Chile con rangos de presión entre 0 – 200 bar y temperatura entre 0 – 400 °C.



Figura N°10: Prensa.

- Encoladora de tambor: esta se utilizó para encolar por medio de atomización la resina a las hojuelas. Este equipo consta de un tambor giratorio y un equipo externo en el cual se encuentran las boquillas, mangueras y recipientes para el adhesivo.



Figura N°11: Encoladora de tambor y sistema de pulverización.

### **3.3.- Metodología.**

De cada tablero se obtuvieron 4 probetas de 76.2mm\*304.8mm y 11mm de espesor. En total se evaluaron 100 probetas, estas fueron climatizadas y luego se les realizó el tratamiento de vacío – presión.

Los ensayos se realizaron bajo la Norma APA PRP 108, test Método P-1 procedimiento A, según la descripción que se entrega a continuación.

#### **3.3.1. Evaluación de Expansión total al vacío.**

Las probetas de ensayo son colocadas en estufa a  $103 \pm 2$  °C por 24 horas, luego de transcurrido este tiempo se mide el espesor, el peso y su expansión lineal para poder obtener los valores correspondientes al estado seco.

Después se colocan en el estanque al vacío en agua por 1 hora con una presión de 25 mmHg y una temperatura de  $18 \pm 5$  °C. Las probetas se dejan por 2 horas más sumergidas en el estanque sin presión, luego se retiran y estilan para su medición.

La expansión total se obtiene en porcentaje y es calculada con la siguiente ecuación:

$$Exp .Lineal (\%) = \left( \frac{L_w - L_d}{10} \right) * 100$$

Donde:

$L_w$ = dimensión saturada.

$L_d$ = dimensión seca.

10= distancia entre los Eyelettes.

#### **3.3.2.-Evaluación de Expansión lineal en cámara de clima.**

En este ensayo las probetas son expuestas en la cámara de clima a cambios de humedad relativa de 40% - 52,5% - 65% - 77,5% - 90% con una temperatura constante de 20 °C.

Para realizar los cambios de humedad relativa en la cámara se realizaron controles diarios del peso ha determinadas probetas, las cuales eran siempre las misma en cada clima, hasta llegar a un peso constante, luego de esto se realizó el cambio de humedad relativa manteniendo constante la temperatura.

La expansión lineal se calcula con la siguiente ecuación:

$$Exp .Lineal (\%) = \left( \frac{L_w - L_d}{10} \right) * 100$$

Donde:

$L_d$ = dimensión seca.

$L_w$ = dimensión saturada (clima).

10= distancia entre los Eyelettes.

### **3.3.3.-Hinchamiento.**

Para evaluar el hinchamiento se realizaron 3 mediciones de espesor por probeta en seco y para cada clima, obteniendo un promedio de las mediciones.

El hinchamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Hinchamiento}(\%) = \left( \frac{H_s - H_i}{H_i} \right) * 100$$

Donde:

$H_s$  = hinchamiento saturado promedio.

$H_i$  = hinchamiento en seco promedio.

### **3.3.4- Humedad de equilibrio.**

Para determinar la humedad de equilibrio se controló el peso en seco de cada una de las probetas y luego en cada clima, obteniendo un promedio, calculando así el contenido de humedad correspondiente.

El contenido de humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$C.H(\%) = \left( \frac{P_h - P_s}{P_s} \right) * 100$$

Donde:

$P_s$  = peso seco.

$P_h$  = peso húmedo.

### **3.3.5- Análisis estadístico.**

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa Microsoft Excel, obteniendo los valores promedios, máximos, mínimos y las desviaciones estándar, para poder realizar una comparación entre cada una de las mezclas realizadas.

Además se realizó un análisis Anova con el programa Statgrafic, para poder corroborar las comparaciones antes mencionadas.

## 4.- PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1- Resultados y Análisis

Antes de entregar los resultados obtenidos y ser analizados cabe mencionar que el proceso de fabricación de los tableros, se efectuó en los laboratorios de la empresa Oxiquim S.A.

Este proceso se realizó por etapas. Primero se seleccionó el material que se utilizó en cada una de las mezclas. Luego se pesaron las cantidades de hojuelas necesarias para las mezclas de especies requeridas. La siguiente etapa fue el encolado que se realizó por medio de una encoladora de tambor giratorio, y el encolado se efectuó por medio de un sistema de pulverización. Durante esta etapa se controló la distribución del adhesivo, con el objetivo de que sea lo más homogénea posible.

Finalmente se obtuvieron las hojuelas encoladas y estas fueron separadas para cada una de las capas del tablero, para así formar el colchón de hojuelas que se llevo a la prensa.

Para poder obtener el espesor deseado, se colocaron unos topes del mismo espesor, a ambos lados del colchón, los que sirven de topes al momento de cerrar la prensa.

A continuación se presentan los cuadros resúmenes de expansión lineal, hinchamiento y humedad de equilibrio registrados en los diferentes climas que se provocaron por un climatizado a diferentes humedades relativas del aire desde 40% hasta 90% en la cámara de clima y a su vez los valores totales arrojados por el método de vacío que corresponde a las tres variables antes mencionadas. El cuadro N°2 entrega los resultados obtenidos para el climatizado de los tableros a un 40% de humedad relativa del aire. Se puede observar que los valores más altos en expansión lineal e hinchamiento los obtuvo la mezcla 75% nativo 25% pino y los valores menores la mezcla 50% nativo 50% pino.

Cuadro N°2: Resultados para clima 40%

Clima 40%				
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0,130	1,068	3,169
	Maximo	0,200	2,526	13,357
	Minimo	0,080	0,129	1,656
	Desvest.	0,033	0,753	2,503
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0,139	1,452	3,471
	Maximo	0,190	4,423	10,505
	Minimo	0,090	0,078	1,539
	Desvest.	0,028	1,330	1,897
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0,108	1,237	2,884
	Maximo	0,170	2,828	3,959
	Minimo	0,010	0,140	1,876
	Desvest.	0,035	0,715	0,727
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0,156	2,184	3,176
	Maximo	0,280	7,221	5,827
	Minimo	0,080	0,344	1,980
	Desvest.	0,044	1,972	0,838
100 % Nativas	Promedio	0,133	1,328	4,255
	Maximo	0,190	2,387	11,578
	Minimo	0,030	0,476	1,990
	Desvest.	0,040	0,636	3,063

A su vez el cuadro N° 3 nos muestra que se mantiene la misma tendencia del cuadro anterior cuando los tableros son climatizados a una humedad relativa del aire del 52,5%.

Cuadro N° 3: Resultados para el clima 52,5%

Clima 52,5%				
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0,198	1,442	4,565
	Maximo	0,270	2,923	14,933
	Minimo	0,140	0,449	2,594
	Desvest.	0,037	0,688	2,680
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0,221	2,039	4,749
	Maximo	0,300	5,091	12,161
	Minimo	0,170	0,157	2,949
	Desvest.	0,028	1,624	2,023
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0,173	1,426	4,083
	Maximo	0,220	2,349	5,236
	Minimo	0,100	0,164	2,854
	Desvest.	0,027	0,716	0,893
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0,263	2,786	4,383
	Maximo	1,280	7,385	7,244
	Minimo	0,110	0,537	2,977
	Desvest.	0,244	1,767	0,934
100 % Nativas	Promedio	0,215	1,860	5,059
	Maximo	0,390	3,353	13,121
	Minimo	0,140	0,013	1,364
	Desvest.	0,073	0,844	3,429

En el cuadro N°4 se observa que se mantiene la misma tendencia ya que al ser climatizado los tableros a una humedad relativa del aire del 65%, el hinchamiento fue mayor en los tableros 75% nativo 25% pino.

Cuadro N° 4: Resultados para el clima 65%.

Clima 65%				
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0,239	2,587	6,050
	Maximo	0,310	4,566	16,668
	Minimo	0,150	1,433	3,683
	Desvest.	0,044	0,966	2,804
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0,267	3,266	5,972
	Maximo	0,380	6,441	14,017
	Minimo	0,150	0,745	2,407
	Desvest.	0,047	1,822	2,282
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0,215	2,636	5,425
	Maximo	0,280	4,481	6,752
	Minimo	0,150	0,806	3,934
	Desvest.	0,029	0,941	1,064
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0,313	4,032	5,831
	Maximo	1,300	8,881	8,929
	Minimo	0,120	1,640	4,190
	Desvest.	0,237	1,875	1,039
100 % Nativas	Promedio	0,245	3,057	6,514
	Maximo	0,380	5,096	14,907
	Minimo	0,180	0,726	3,025
	Desvest.	0,058	1,074	3,563

El cuadro N°5, entrega los resultados obtenidos en el clima 77,5% humedad relativa del aire y en el se puede observar un cambio en la tendencia ya que la menor expansión lineal la presenta el tablero fabricado con 100% pino.

Cuadro N° 5: Resultados para el clima 77,5%.

Clima 77,5%				
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0,300	6,173	8,783
	Maximo	0,370	10,437	19,711
	Minimo	0,200	3,396	6,051
	Desvest.	0,047	1,723	2,922
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0,341	7,691	8,761
	Maximo	0,480	13,146	17,206
	Minimo	0,230	3,688	5,210
	Desvest.	0,055	2,741	2,409
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0,307	6,313	8,029
	Maximo	0,900	9,282	9,645
	Minimo	0,210	4,032	6,169
	Desvest.	0,144	1,744	1,206
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0,337	8,207	8,731
	Maximo	0,420	13,346	11,933
	Minimo	0,230	5,209	6,879
	Desvest.	0,052	2,547	1,134
100 % Nativas	Promedio	0,310	7,491	9,511
	Maximo	0,410	9,491	18,106
	Minimo	0,240	4,951	6,067
	Desvest.	0,053	1,162	3,637

A diferencia de lo ocurrido en el clima anterior, del cuadro N°6 se puede destacar que bajo el clima 90% humedad relativa del aire se vuelve a la tendencia que la mezcla 50% pino 50% nativo sufre los menores cambios dimensionales.

Cuadro N° 6: Resultados para el clima 90%.

Clima 90%				
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0,374	16,090	14,521
	Maximo	0,480	23,942	25,764
	Minimo	0,260	10,823	11,820
	Desvest.	0,061	3,343	2,955
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0,433	19,476	14,546
	Maximo	0,530	28,532	23,517
	Minimo	0,310	13,868	10,649
	Desvest.	0,050	4,377	2,555
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0,368	17,077	13,848
	Maximo	0,490	23,122	15,805
	Minimo	0,310	12,452	11,636
	Desvest.	0,047	3,413	1,380
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0,456	20,744	14,886
	Maximo	0,550	28,261	18,408
	Minimo	0,290	14,231	12,976
	Desvest.	0,065	4,184	1,230
100 % Nativas	Promedio	0,399	20,014	15,648
	Maximo	0,510	25,486	24,520
	Minimo	0,320	17,886	11,961
	Desvest.	0,068	2,093	3,780

Al revisar los resultados obtenidos por el tratamiento de vacío-presión, entregados en el cuadro N°7 se puede ver claramente que la mezcla 75% nativo 25% pino es la que sufre los mayores cambios dimensionales.

Cuadro N° 7: Resultados para tratamiento vacío-presión (total).

		Total		
Tablero	Parámetro	Exp lineal (%)	Hinchamiento (%)	Humedad (%)
100% P.Radiata	Promedio	0.458	39.066	88.862
	Maximo	0.600	47.757	109.515
	Minimo	0.300	31.447	73.987
	Desvest.	0.086	4.828	10.751
75% P.Radiata 25% Nativas	Promedio	0.499	41.740	89.562
	Maximo	0.750	57.404	106.917
	Minimo	0.190	25.926	74.729
	Desvest.	0.120	8.143	8.997
50 % Nativas 50% P.Radiata	Promedio	0.451	39.960	81.311
	Maximo	0.610	50.447	103.208
	Minimo	0.270	29.731	63.788
	Desvest.	0.072	6.177	9.909
75 % Nativas 25% P.Radiata	Promedio	0.587	46.729	95.749
	Maximo	1.100	63.989	112.612
	Minimo	0.120	33.158	78.102
	Desvest.	0.192	9.223	11.346
100 % Nativas	Promedio	0.463	44.082	93.590
	Maximo	0.610	56.758	108.126
	Minimo	0.350	39.117	84.105
	Desvest.	0.091	4.543	7.120

En base a los datos entregados por los cuadros resúmenes se realizaron los análisis respectivos a cada uno de los climas, partiendo por una relación entre la expansión lineal y el contenido de humedad, donde en general podemos observar que las poligonales muestran que al aumentar el contenido de humedad se produce un aumento de la expansión lineal de los tableros, corroborando así el climatizado correcto. (Ver Anexo 2).

#### 4.1.1 Expansión Lineal

La Figura 12 muestra que a medida que aumenta la humedad relativa del aire se incrementa la expansión lineal en todos los tableros, marcándose una diferencia estadística significativa entre todas las mezclas de especies. Esto puede comprobarse observando el análisis Anova que se entrega en el Anexo 3.

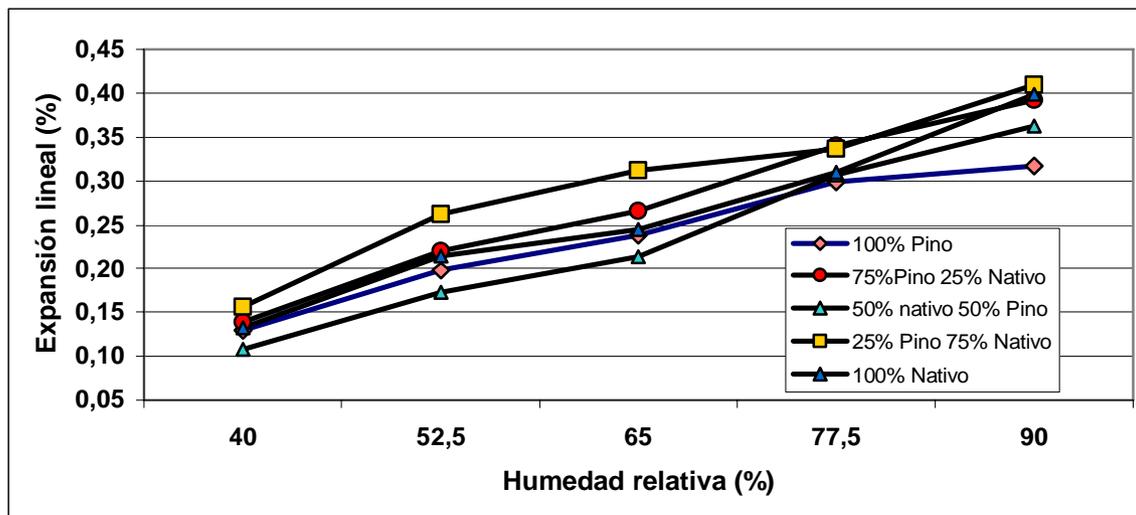


Figura 12: Relación entre expansión lineal con la humedad relativa de la cámara.

También se puede observar en esta figura claramente que la mezcla 75% nativo 25% pino es la que sufre la mayor expansión lineal en relación a las demás mezclas durante el climatizado.

En la siguiente figura N° 13 se puede apreciar la expansión lineal total de todas las mezclas de especies, esto se obtuvo mediante un tratamiento de vacío-presión.

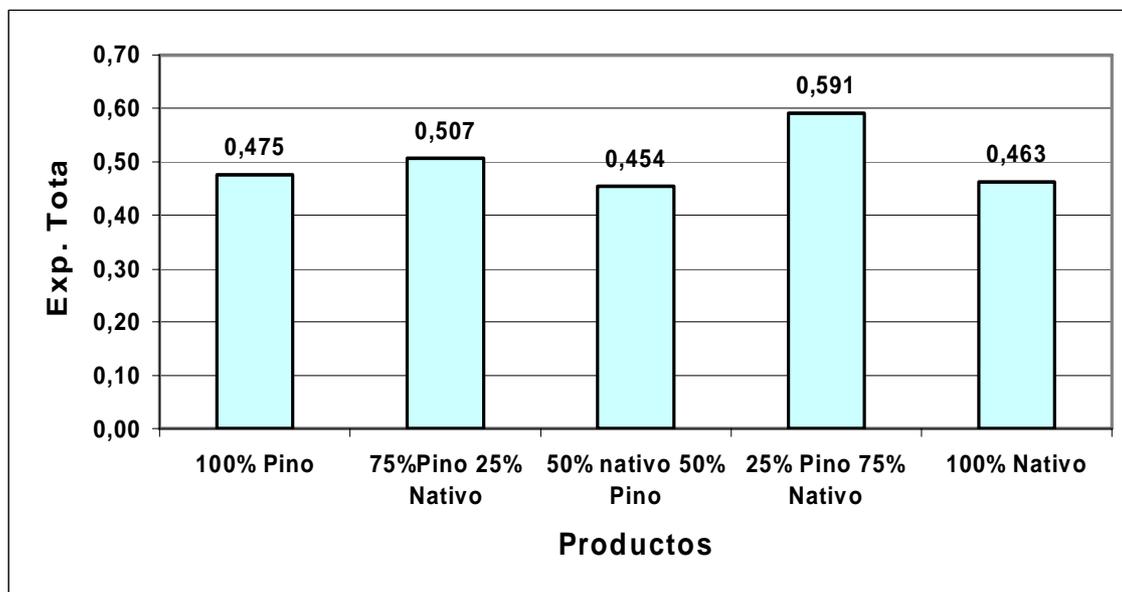


Figura N° 13: Expansión total de los tableros.

Lo que se esperaba era encontrar una relación entre la proporción de la mezcla de maderas y la expansión lineal. Esta tendencia no se produjo y al comparar los resultados de los tableros 100% pino con los tableros 100% nativo podemos apreciar que la expansión lineal de ambos fue muy similar.

Una explicación a este comportamiento puede ser que la densidad para fabricar los tableros fue la misma sin discriminar las especies que se estaban utilizando, la cual debe ser diferente cuando se trabaja con pino y con nativas, ya que esto provoca una dispersión en las densidades de las probetas.

Asumiendo esta hipótesis lo que se realizó fue una igualación en las densidades de las probetas, eliminándose alrededor del 15% de estas. Para esta selección solo se utilizó el criterio de eliminar las probetas que más se alejaban del valor promedio de la muestra. Luego de esta selección se calculó nuevamente las expansiones lineales, a cada producto, para poder determinar si esta era la razón por la cual no se obtuvo lo que se esperaba. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la figura N°14, pudiéndose apreciar claramente que no existe un cambio favorable, al contrario en este caso la expansión lineal de los tableros 100% pino fue muy superior a la de los tableros 100% nativo.

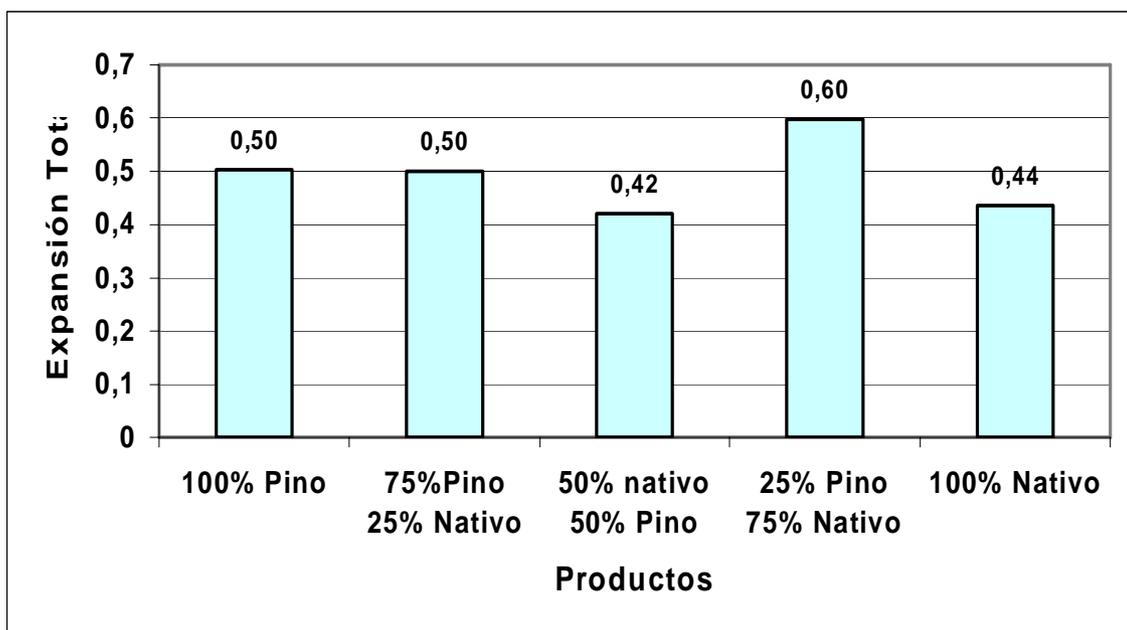


Figura N° 14: Expansión lineal con densidades similares.

Relacionado con la densidad también esta la razón de compresión del tablero, que es la compactación que tiene este a la hora de ser prensado. Esta varía según la especie que se utilice siendo la del pino mayor que la del nativo, esto se debe a que el pino tiene una densidad menor que la de las especies nativas.

La siguiente figura entrega los valores de la razón de compresión para cada una de las mezclas. En ella se puede ver claramente la diferencia que existe entre las razones de compresión, siendo estas demasiado alta a la recomendada en un proceso industrial para las especies de menor densidad, lo que produce una mayor compactación provocando una liberación mayor de tensiones, pudiéndose ver esto reflejado en los cambios dimensionales mayores que presentan los tableros realizados con especies menos densas, en comparación con los tableros realizados con especies de mayor densidad.

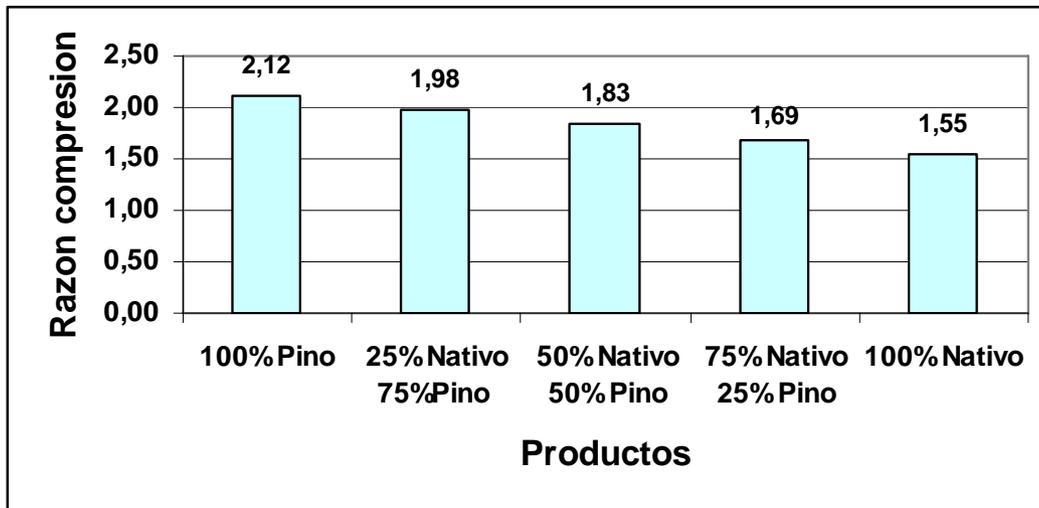


Figura N°15: Razón de compresión por cada mezcla.

Otra explicación para este comportamiento puede estar relacionado con las humedades de equilibrio obtenidas por las probetas durante el climatizado no fueron iguales, provocando así una dispersión en los resultados de los cambios dimensionales.

Para corroborar este supuesto se realizó una ponderación entre la humedad de equilibrio y la expansión lineal, lo cual no arrojó una tendencia en los resultados.

#### 4.1.2 Hinchamiento.

Las mediciones se realizaron en base al espesor del tablero a las diferentes humedades de estudio desde 40% a 90%, permaneciendo la temperatura constante en 20°C, siendo los valores totales obtenidos luego de un tratamiento bajo vacío-presión.

A continuación se presenta la figura N°16 la cual entrega la relación entre humedad relativa e hinchamiento.

Para esta variable también se puede observar que la mezcla que sufrió mayor hinchamiento en todos los climas fue la de 75% nativo 25% pino.

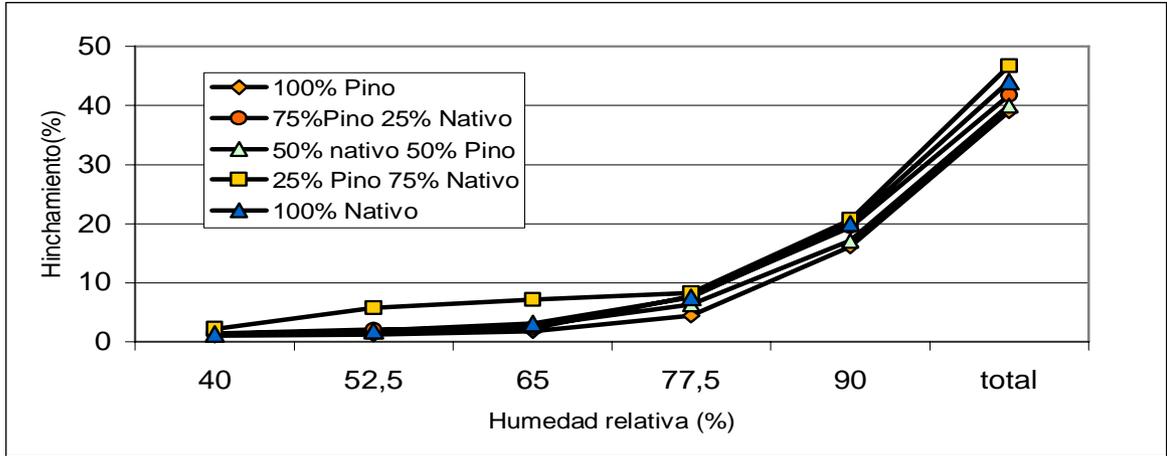


Figura N°16: Relación entre el hinchamiento con la humedad relativa de la cámara.

Como era de esperar, al examinar los valores presentados en los cuadros se observa que al aumentar la humedad relativa del aire aumenta el espesor del tablero, obteniendo cada mezcla una diferencia estadística significativa, como lo demuestra el análisis Anova. (Ver Anexo 3)

#### 4.1.3 Humedad de equilibrio.

La figura N°17 muestra la relación entre la humedad de equilibrio de los tableros y la humedad relativa del aire.

Los valores que se observan después del clima de 90% fueron obtenidos luego de un tratamiento al vacío con agua y temperatura.

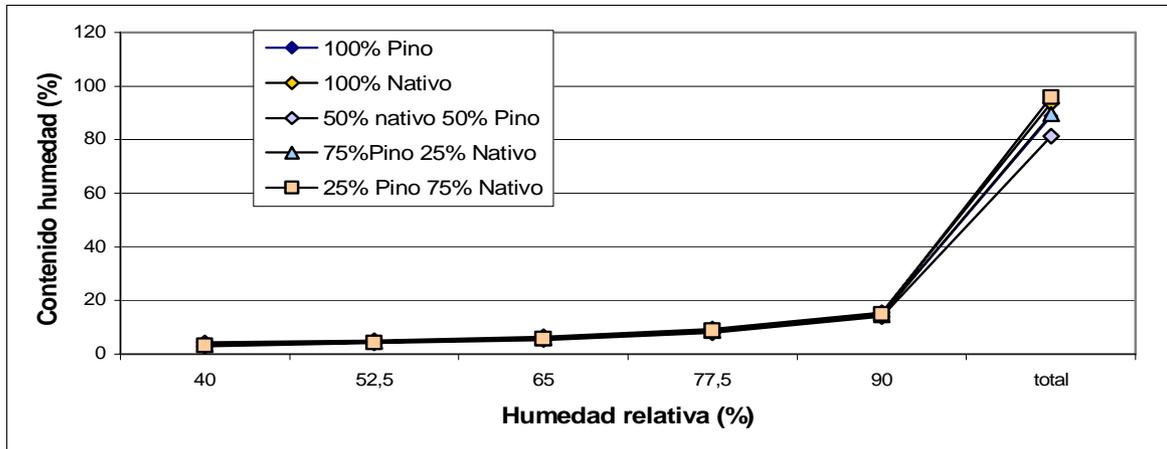


Figura N°17: Relación entre el contenido de humedad con la humedad relativa de la cámara.

En esta figura podemos observar que todos los productos fueron aumentando su contenido de humedad de equilibrio en forma homogénea desde humedad relativa del aire de 40% al 90% en la cámara de clima, obteniéndose una curva que muestra que a mayor humedad relativa del aire la humedad de equilibrio de las probetas de todas las mezclas fue aumentando. Para este caso también se puede observar una diferencia estadística. (Ver Anexo 3).

## 5. CONCLUSIONES

Se puede concluir de este trabajo que con todas las mezclas ocurrió lo mismo, a medida que se aumentó la humedad relativa del aire también aumentó la expansión lineal, ocurriendo lo mismo con el hinchamiento y con la humedad de equilibrio de los tableros.

Con respecto a cada una de las mezclas, la que sufrió mayores cambios dimensionales durante todo el proceso de climatizado fue la mezcla 75% nativo 25% pino, obteniendo una expansión total de 0.591%, lo cual da a entender que no es una mezcla apropiada para producir.

En cambio la que obtuvo los cambios dimensionales menores durante todo el climatizado fue la mezcla 50% pino 50% nativo, obteniendo un valor en expansión total de 0.42%, siendo este valor menor al obtenido por el tablero 100% pino, el cual obtuvo 0.50%.

Cabe destacar que si bien es cierto este estudio entrega como la mejor mezcla 50% pino 50% nativo, ya que es esta la que sufre menores cambios dimensionales, el tema no está completamente cerrado, quedando planteada la hipótesis sobre la densidad de fabricación de los tableros. La cual según lo utilizado en la industria debe ser diferenciada dependiendo de las distintas mezclas de especies que se utilicen, ya que esto va directamente ligado con la razón de compresión y esto se ve reflejado en que a medida que un material se compacta más, los cambios dimensionales son mayores debido a que tiende a liberar mayores tensiones cuando son sometidos a distintas condiciones climáticas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- APA. 1994. *Moisture Exposure Recommendations for Wood Structural Panels*. APA TECHNICAL TOPICS. 7p.
- Díaz-vaz, J. 2003. *Anatomía de la madera*. 1º edición. Editorial Marisa Cuneo ediciones. Valdivia. Chile. pp. 15-19
- Kelly, M.1977. *Critical literature review of relationships between processing parameter and physical properties of particleboard*. General Technical Report FPL.10. Madison. p. 64
- Kollmann, F; Kuenzi, E; Stamm, A. 1975. *Wood Science and Technology*. II. Wood based materials. Springer – Verlag Berlin Heidelberg New York. pp 312 - 538
- Louisiana Pacific Chile. *Manual de control de calidad (QMS)*. Documento interno de la empresa pp. 1-3
- Moslemi, A.1974. *Particleboard*. Southern Illinois University Pres. Vol. 1 pp. 137-160
- Pérez, V. 1983. *Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas*. Investigación y desarrollo forestal. Doc. De trabajo N° 47. pp. 9-16.
- Pérez, V. 1978. *Manual de construcciones en madera*. Instituto Forestal. Chile. Manual N° 10. pp. 8-12.
- Poblete, H. 2001 *Tableros de partículas* 1º edición. Chile. Editorial El Kultrun. Vol 1. p. 177
- Youngquist, J.; Kzysik, A.; Rowell, R, 1986. *Dimensional stability of acetylated aspen flake board*. Vol. 18(1). pp.90-98.

## **Anexos**

**Anexo N° 1**  
**Abstract and keywords.**

## **Effect the mixtures the pine radiate and species native of the lineal expansion on the OSB panels.**

The objective of the present work was to determine the influence of mixtures of pine with native species over the dimensional variations of OSB panels.

Work was done with panels at a laboratory level together whit the companies Louisiana Pacific S.A. and Oxiquim S.A.

A method of extraction of tuber was applied to each panels, witch were subdued to a climatized cycle with relative moisture of air between 40% and 90%, maintaining the constant temperature at 20°C. The duration of each climate was approximate 10 days, when this time elapsed the lineal perpendicular expansion, the swelling and balances of moisture for each tube were determined. After climatized cycle the total lineal perpendicular expansion was determined under a vacuum - presion process.

It was proven that the dimensions and the balance of moisture increased as the relative moisture of the air were increased.

The board that present the least dimensional variation was the mixture 50% pine 50% native, en a level with overy climate and obtaining a total lineal perpendicular expansion of 0,454%.

Keywords: OSB panels, lineal expansion, swelling, balance of moisture.

**Anexo N° 2**  
**Relación entre Expansión lineal y Contenido de humedad.**

Gráficos correspondientes a la relación entre expansión lineal y contenido de humedad para cada mezcla.

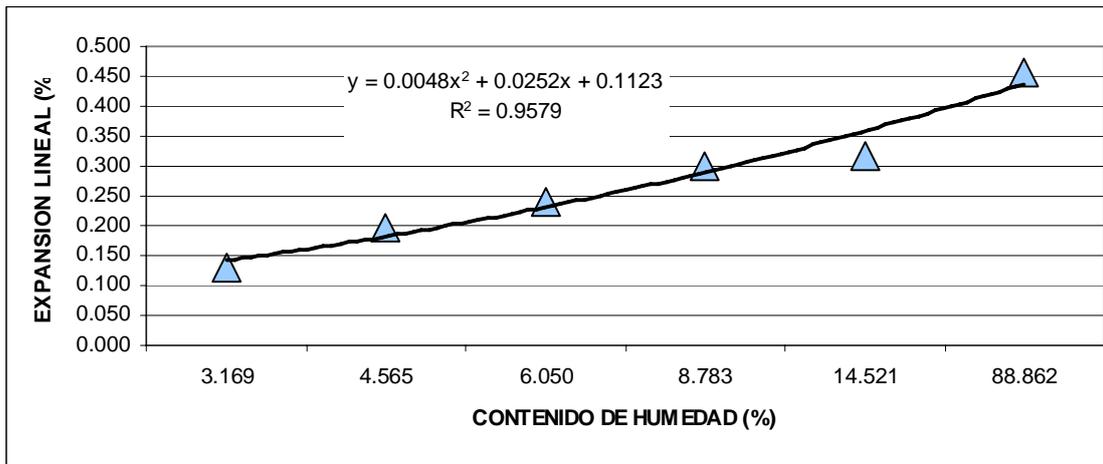


Figura 1: Relación entre expansión lineal y contenido de humedad para mezcla 100% pino.

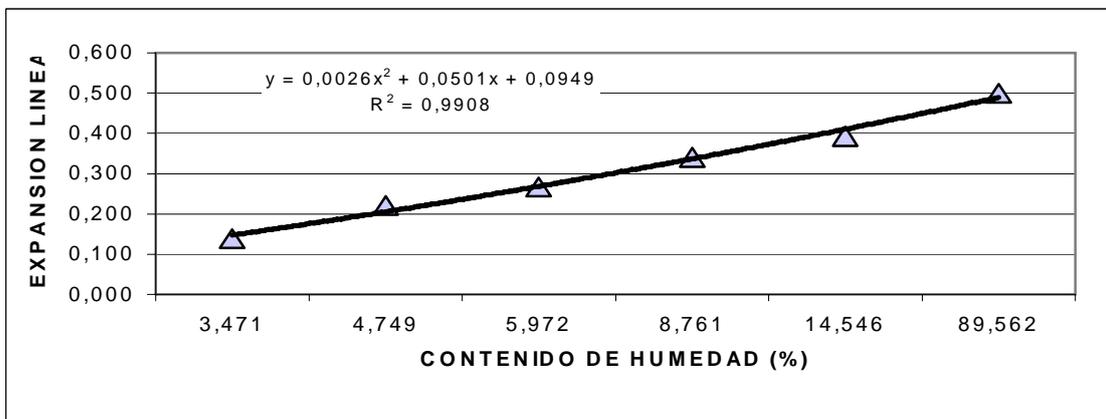


Figura 2: Relación entre expansión lineal y contenido de humedad para mezcla 75% pino 25% nativo.

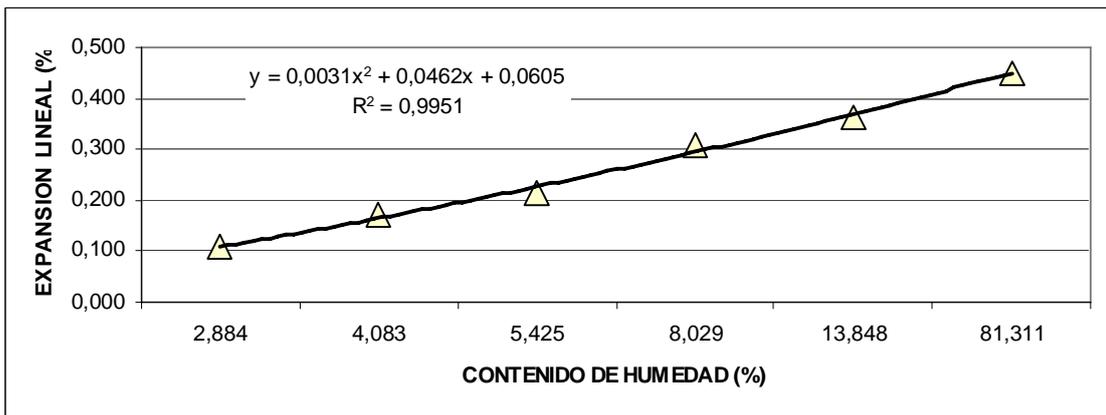


Figura 3: Relación entre expansión lineal y contenido de humedad para mezcla 50% pino 50% nativo.

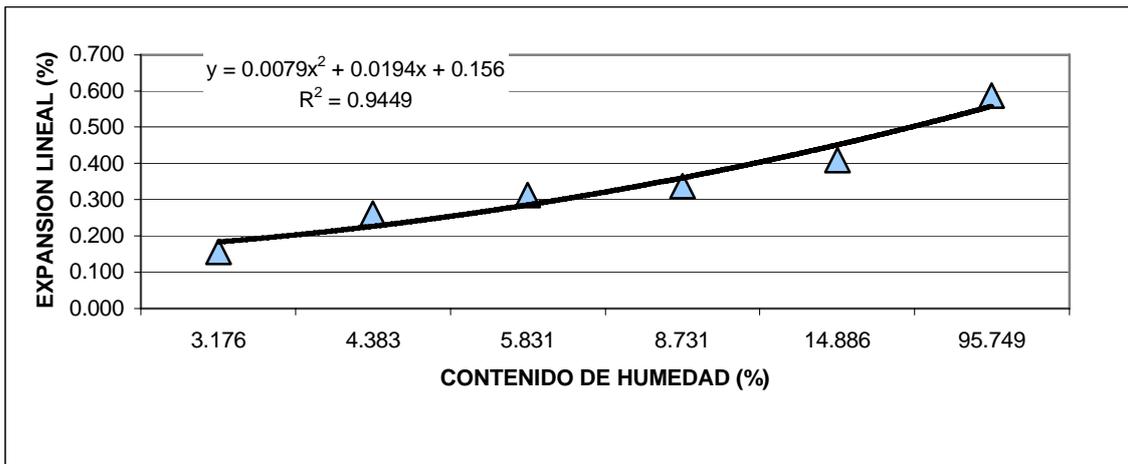


Figura 4: Relación entre expansión lineal y contenido de humedad para 25% pino 75% nativo.

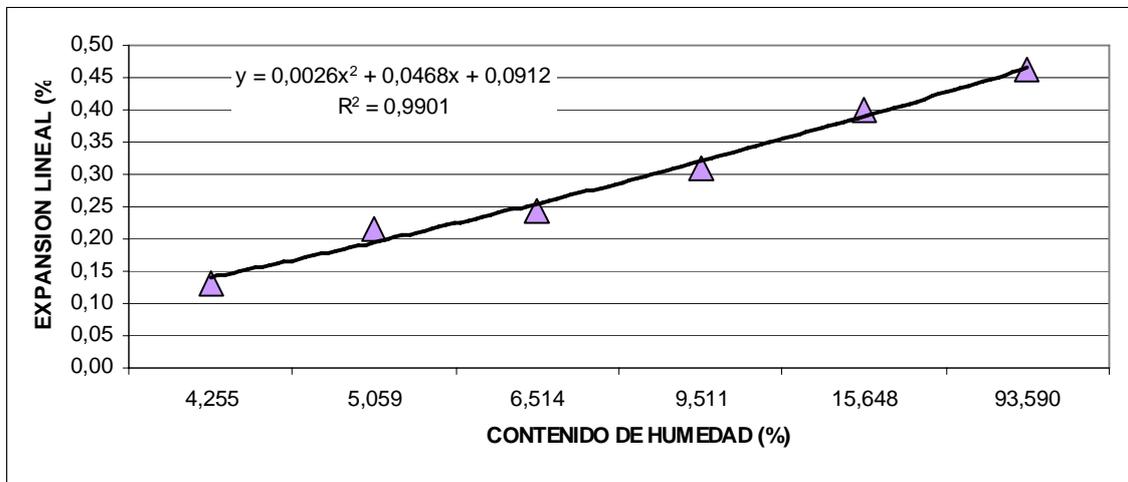
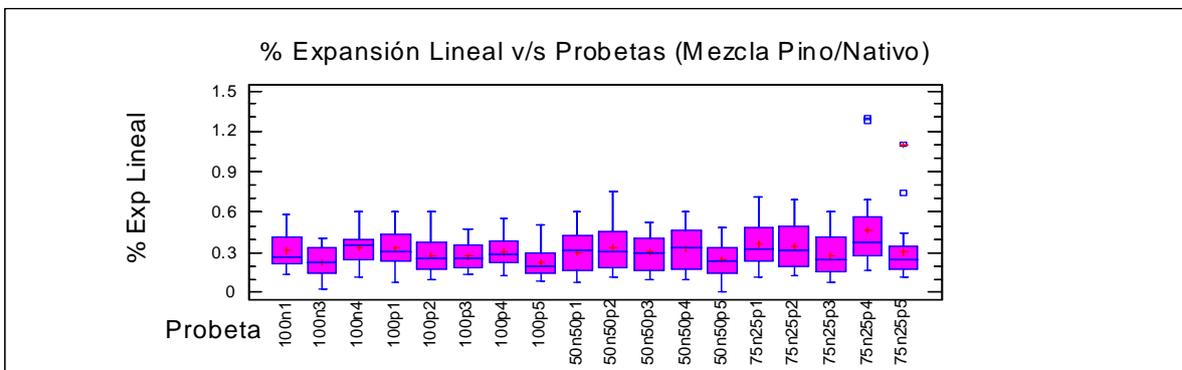
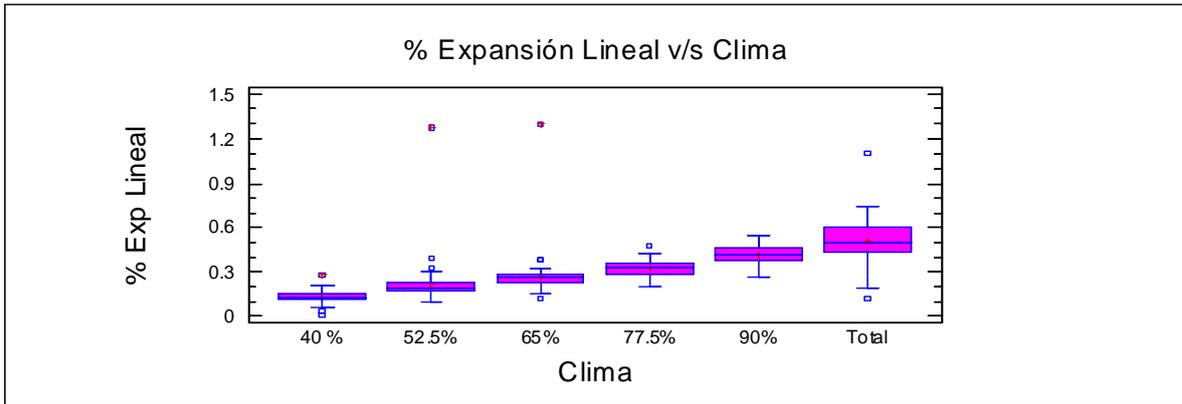


Figura 5: Relación entre expansión lineal y contenido de humedad para 100% nativo.

**Anexo N° 3**  
**Análisis Anova.**

## Análisis Anova Expansión lineal.



Multiple Range Tests for % Exp Lineal by Clima

---

Method: 95.0 percent Tukey HSD

Clima	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
40 %	72	0.131389	0.00998342	X
52.5%	72	0.211667	0.00998342	X
65%	72	0.267917	0.00998342	X
77.5%	72	0.323056	0.00998342	X
90%	72	0.417083	0.00998342	X
Total	72	0.506111	0.00998342	X

---

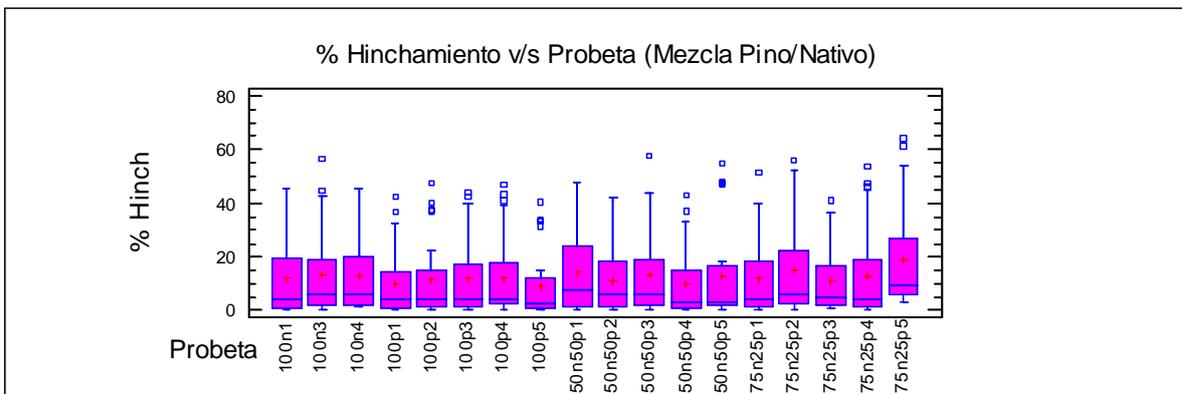
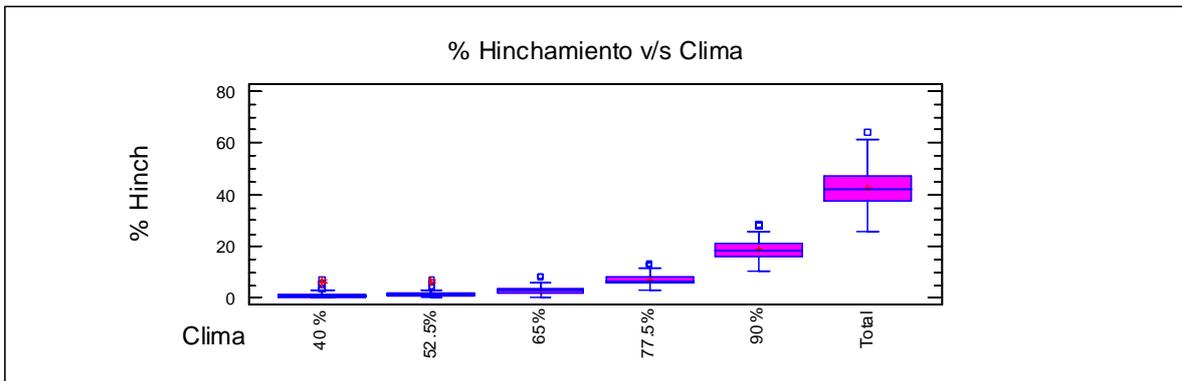
Contrast	Difference	+/- Limits
40 % - 52.5%	*-0.0802778	0.0405402
40 % - 65%	*-0.136528	0.0405402
40 % - 77.5%	*-0.191667	0.0405402
40 % - 90%	*-0.285694	0.0405402
40 % - Total	*-0.374722	0.0405402
52.5% - 65%	*-0.05625	0.0405402
52.5% - 77.5%	*-0.111389	0.0405402
52.5% - 90%	*-0.205417	0.0405402
52.5% - Total	*-0.294444	0.0405402
65% - 77.5%	*-0.0551389	0.0405402
65% - 90%	*-0.149167	0.0405402
65% - Total	*-0.238194	0.0405402
77.5% - 90%	*-0.0940278	0.0405402
77.5% - Total	*-0.183056	0.0405402
90% - Total	*-0.0890278	0.0405402

---

\* denotes a statistically significant difference.

Significancia 99%.

## Análisis Anova Hinchamiento.



### Multiple Range Tests for % Hinch by Clima

Method: 95.0 percent Tukey HSD

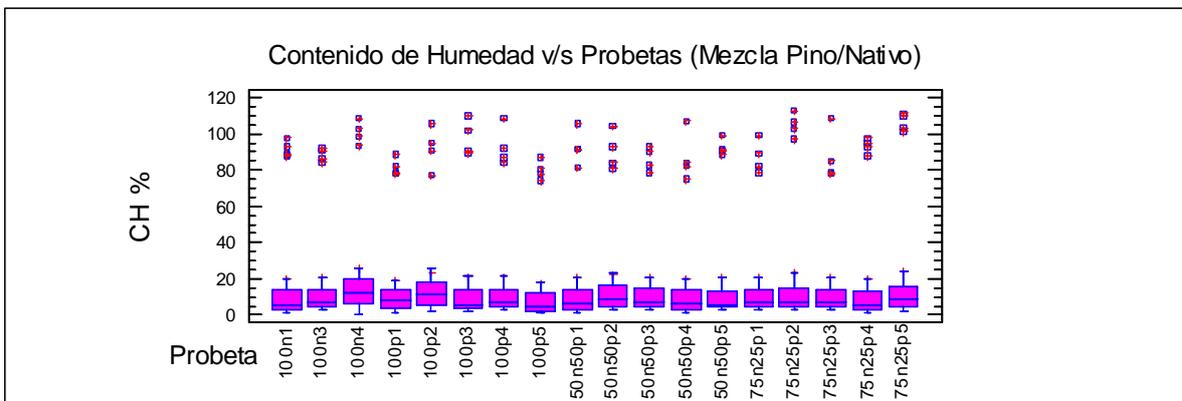
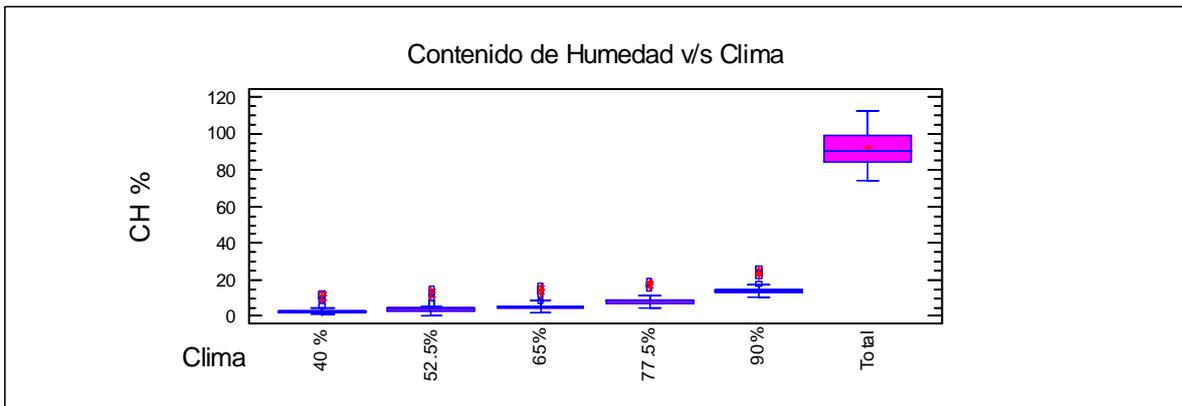
Clima	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
40 %	72	1.46833	0.257534	X
52.5%	72	1.88065	0.257534	X
65%	72	3.25536	0.257534	X
77.5%	72	7.37954	0.257534	X
90%	72	18.9773	0.257534	X
Total	72	42.7732	0.257534	X

Contrast	Difference	+/- Limits
40 % - 52.5%	-0.412319	1.04578
40 % - 65%	*-1.78703	1.04578
40 % - 77.5%	*-5.91121	1.04578
40 % - 90%	*-17.509	1.04578
40 % - Total	*-41.3049	1.04578
52.5% - 65%	*-1.37471	1.04578
52.5% - 77.5%	*-5.49889	1.04578
52.5% - 90%	*-17.0967	1.04578
52.5% - Total	*-40.8926	1.04578
65% - 77.5%	*-4.12418	1.04578
65% - 90%	*-15.722	1.04578
65% - Total	*-39.5179	1.04578
77.5% - 90%	*-11.5978	1.04578
77.5% - Total	*-35.3937	1.04578
90% - Total	*-23.7959	1.04578

\* denotes a statistically significant difference.

Significancia 99%.

## Análisis Anova Humedad de equilibrio.



Multiple Range Tests for CH % by Clima

---

Method: 95.0 percent Tukey HSD

Clima	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
40 %	72	3.27285	0.407951	X
52.5%	72	4.46276	0.407951	XX
65%	72	6.0449	0.407951	X
77.5%	72	8.88406	0.407951	X
90%	72	14.8172	0.407951	X
Total	72	91.7574	0.407951	X

---

Contrast	Difference	+/- Limits
40 % - 52.5%	-1.18992	1.65659
40 % - 65%	*-2.77206	1.65659
40 % - 77.5%	*-5.61121	1.65659
40 % - 90%	*-11.5444	1.65659
40 % - Total	*-88.4846	1.65659
52.5% - 65%	-1.58214	1.65659
52.5% - 77.5%	*-4.42129	1.65659
52.5% - 90%	*-10.3545	1.65659
52.5% - Total	*-87.2947	1.65659
65% - 77.5%	*-2.83915	1.65659
65% - 90%	*-8.77232	1.65659
65% - Total	*-85.7125	1.65659
77.5% - 90%	*-5.93317	1.65659
77.5% - Total	*-82.8734	1.65659
90% - Total	*-76.9402	1.65659

---

\* denotes a statistically significant difference.

Significancia 99%.