



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA**

---

**EFFECTO DEL ÁNGULO DE CONTRA CUCHILLO Y MEZCLA DE  
ESPECIES EN LA CLASIFICACIÓN DE HOJUELAS GENERADAS  
PARA TABLEROS OSB**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero de la Madera

**CLAUDIO ANDRÈS REYES LEÒN**

Prof. Guía: Sra. Rose Marie Garay Moena. Ing. Forestal  
M. Sc. En Ciencia e Industria de la Madera

---

**Santiago, Chile**

**2008**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA MADERA**

**EFFECTO DEL ÁNGULO DE CONTRA CUCHILLO Y MEZCLA DE  
ESPECIES EN LA CLASIFICACIÓN DE HOJUELAS GENERADAS  
PARA TABLEROS OSB**

Memoria para optar al Título  
Profesional de Ingeniero de la Madera

**CLAUDIO ANDRÈS REYES LEÒN**

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sra. Rose Marie Garay Moena. M. Sc	6.7	.....
Prof. Consejero Sr. Alejandro Bozo Gonzalez, Ph.d	6.2	.....
Prof. Consejero Sr. Misael Gutiérrez Dauré. M. Sc	6.5	.....

## **DEDICATORIA**

**A mi familia por entregarme amor y cariño durante todo este tiempo, en especial a las personas que me hicieron crecer, mi hija Sofía y mi esposa Andrea.**

## ÍNDICE.

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b> ....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO.</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>MATERIAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Generación de hojuelas</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b>Mezcla de especies</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1.2</b>	<b>Angulo de contra cuchillo.</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1.3</b>	<b>Cuchillos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Clasificación de hojuelas.</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2.1</b>	<b>Tamizadora</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>MÉTODO.</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Obtención de muestras</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Proceso de tamizado</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.2.1</b>	<b>Porcentaje de retención.</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Obtención de muestras de hojuela para tablero Siding</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Tratamiento trifactorial de efectos fijos</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Tratamiento bifactorial de efectos fijos</b> .....	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE HOJUELAS Y PARÁMETROS DE ACEPTACIÓN.</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>ANÁLISIS MEZCLA DE ESPECIES Y ÁNGULO DE CONTRA CUCHILLO CON RESPECTO AL RENDIMIENTO</b> .....	<b>23</b>

<b>3.3</b>	<b>ANÁLISIS EN CUANTO A LOS RANGOS DE ACEPTACIÓN DE LAS RETENCIONES DE HOJUELAS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>ANÁLISIS DE RETENCIÓN POR MEZCLA ESPECIE. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Retención para mezcla E/N. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Retención para mezcla M1. ....</b>	<b>26</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Retención para mezcla E/P.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Retención para mezcla N.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>ANÁLISIS ENTRE MEZCLAS DE ESPECIES. ....</b>	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>ANÁLISIS POR ÁNGULO DE CONTRA CUCHILLO.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIMENTACIÓN DE HOJUELA DE TABLERO SIDING.....</b>	<b>29</b>
<b>3.8</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO. ....</b>	<b>31</b>
<b>3.8.1</b>	<b>Tratamiento trifactorial.....</b>	<b>31</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Tratamiento bifactorial. ....</b>	<b>31</b>
<b>3.8.2.1</b>	<b>Análisis de Comparación de medias.....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1: Abertura de malla (pulg) y clasificación.</b>	<b>12</b>
<b>CUADRO 2: Variación del tamaño de hojuela para mezcla M1 y M2 (%).</b>	<b>13</b>
<b>CUADRO 3: Ángulos de contra cuchillo a muestrear para OSB (°).</b>	<b>17</b>
<b>CUADRO 4: Ángulo de contra cuchillo a muestrear para Siding(°).</b>	<b>20</b>
<b>CUADRO 5: Retenciones por mezcla de especie y ángulo de contra cuchillo.</b>	<b>22</b>
<b>CUADRO 6: Rango de retenciones aceptadas.</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>FIGURA 1: Método de obtención de hojuela. ....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 2: Esquema de perfil de equipo hojelero.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 3: Porcentaje de fino generado bajo distintos ángulos de cuchillo y distintas temperaturas ambientes .....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 4: Máquina tamizadora. ....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 5: Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla E/N .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 6: Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla M1 .....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 7: Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla E/P.....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 8: Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla N .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 9: Porcentaje de retención para ángulo de contra cuchillo 80°/85° y mezcla 2P/N .....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 10: Porcentaje de retención para ángulo de contra cuchillo 65°/70° y mezcla 2P/N .....</b>	<b>30</b>

## RESUMEN.

El objetivo de este trabajo fue determinar si la variación de mezcla de especies, ángulos de contra cuchillo y tiempo de uso de los cuchillo afecta el tamaño de las hojuelas y su consecuencia en el rendimiento de material óptimo para la fabricación de tableros OSB.

La obtención de muestras de hojuelas se tomaron a partir del procesamiento en el equipo Wiferizer (viruteador) de cuatro mezclas de especies; N (especies nativas), E/N (1 *Eucalyptus globulus* / 1 nativas), M1 (1 *Pinus radiata* D. Don. / 1 nativas) y E/P (1 *Eucalyptus globulus* / 1 *Pinus radiata* D. Don), bajo tres ángulos de contra cuchillo 40°/45°, 45°/50° y 50°/55°. De manera de medir la importancia del tiempo de uso del cuchillo, se tomaron las muestras de hojuelas dentro de tres intervalos de tiempo: 0 - 2 horas, 2,1 – 4 horas y 4,1 – 6 horas, correspondiente al uso medio de un cuchillo en el proceso.

Una vez obtenidas las muestras de hojuelas se procedió al tamizado y su correspondiente clasificación en material grueso, mediano y fino (cálculo de la retención).

Los resultados estadísticos demostraron que tanto la mezcla de especies como ángulo de contra cuchillo, son factores que influyen en la generación de hojuelas y su correspondiente clasificación. En cambio el tiempo de uso de los cuchillos se observó que no tenía ninguna importancia estadística, presumiblemente por el efecto de la calidad de la madera ocupada en el proceso.

El mejor rendimiento en cuanto a la generación de material óptimo para la fabricación de tablero, se logró con la mezcla de especies M1 con un ángulo de contra cuchillo 45°/50°, por el contrario, el peor rendimiento se logró con E/N con un ángulo de contra cuchillo de 50°/55°.

Palabras claves: Hojuela, Angulo de contra cuchillo, Mezcla de especie, Tablero OSB.



## ABSTRACT

The aim of this work was to determine if the variation of mixtures of species, angles of counterknives and time of use of the Knife affects the size of the strand in the sifted one and his consequence in the performance of ideal material for the manufacture of boards OSB.

The obtaining sample strand to take from the processing of four mixtures of species; N (native species), E/N (1 *Eucalyptus globulus* / 1 native), M1 (1 *Pinus radiata* D. Don./ 1 native) and E/P (1 *Eucalyptus globulus* / 1 *Pinus radiata* D. Don.), under 3 angles of against knife 40 °/45 °, 45 °/50 ° and 50 ° 55 °. Of way of measuring the importance of the time of use of the knife, the samples of strand took inside three intervals of time: 0 - 2 hours, 2.1 - 4 hours and 4.1 - 6 hours, correspondent to the average use of a knife in the process.

Once obtained the samples of strand one proceeded to the sifted one and his corresponding classification in thick, medium and thin material (I calculate of the retention).

The statistical results demonstrated that both the mixtures of species and angle of counterknives are factors that influence the generation of strand and his corresponding classification. On the other hand the time of use of the knives I observe that it did not have any statistical importance, presumably for the effect of the quality of the wood occupied in the process.

The best performance as for the generation of ideal material for the manufacture of board, I achieve with the mixture of species M1 with an angle of counterknives 45°/50°, on the contrary the worst performance I manage with E/N with an angle of counterknives of 50°/55°.

Key words: Strand, Angle of Counterknives, Mixture of species, Board OSB.

## 1 INTRODUCCIÓN.

Los tableros de hojuelas orientadas, OSB (Oriented Strand Board) son tableros de madera constituidos por hojuelas orientadas y superpuestas perpendiculares entre si (Jaimes, 2006), en un número impar de capas (3 y 5 Capas), obtenidas mediante un corte tangencial efectuado a las trozas (viruteado), las cuales luego de ser secadas, encoladas y prensadas dan como resultado un tablero (Zapata, 2005). Una de las principales ventajas del OSB por sobre otros tableros, es su bajo costo de producción, debido a que en la fabricación de éste se utiliza materia prima de menor calidad o especies no comerciales, con mezcla de éstas y de diámetros distintos (Pecho et al, 2004). Pudiéndose ocupar hasta residuos forestales de cosecha (Moslemi, 1974). La condición de perpendicularidad de sus láminas confiere al tablero una excelente estabilidad dimensional y resistencia físico mecánica (Jaimes 2006), por lo tanto, es ampliamente utilizado en construcción habitacional y comercial; aplicados en techumbres, muros y pisos con excelentes resultados.

En Chile los tableros OSB son fabricados por Louisiana Pacific (LP Chile), planta ubicada en Panguipulli X región. La cual en un principio planificó el proceso productivo a partir de madera 100% nativa, con el pasar el tiempo fueron introduciendo especies denominadas blandas que mezclándolas con las anteriores, les permitió obtener resultados satisfactorios en la producción de tableros OSB.

De acuerdo a lo descrito en el manual de proceso de LP Chile en la fabricación de sus tableros, contempla la utilización de mezcla de especies de maderas denominadas duras como; Eucalipto y especies nativas (olivillo, raulí, roble, coigüe, ulmo,) con maderas denominadas blandas como; Pino y Álamo. Las mezclas de especies que a continuación serán mencionadas (Campos, 2005), son el producto de experimentaciones hechas por la planta con el fin de encontrar los más adecuados para su proceso de producción de tableros OSB y Siding.

- M1: Una unidad de nativo (50%), por una unidad de Pino (50%).
- M2: Una unidad de nativo (50%), por una unidad de Álamo (50%).
- E/P: Una unidad de Eucalipto (50%), por una unidad de Pino (50%).
- N: 100% nativo.
- E/N: Una unidad de Eucalipto (50%), por una unidad de nativo (50%).
- P2/N: Dos unidades de Pino (66.6%), por una unidad de nativo (33.3%).
- A2/N: Dos unidades de Álamo (66.6%), por una unidad de nativo (33.3%).

Tanto M1 como E/P son las mezclas de especies más ocupadas en la fabricación de hojuelas para el proceso de producción de tablero OSB. Por otro lado, P2/N y A2/N son mezclas de especies ocupadas en la generación de especialidades denominados Siding, que

es un tipo de tablero OSB impermeabilizado en sus caras con un papel fenólico. Por último E/N y N han sido ocupados en la producción de hojuelas solamente en forma experimental, de manera de ocuparlos en un futuro cercano.

Según Poblete (2001), los factores que influyen en la fabricación de un tablero OSB pueden dividirse en tres grupos,: aquellos aportados por la materia prima madera, los relacionados con el tipo de adhesivo y aditivo adecuado y los que forman parte del proceso de producción.

De acuerdo a lo descrito en el manual de procesos de LP Chile, la madera ingresada en la planta para el proceso de producción es comprada a propietarios de la zona (Región de los Lagos), los cuales no efectúan ningún tratamiento silvicultural, por lo tanto, éstas presentan variaciones en cuanto a calidad, densidad, curvatura de troza, contenido de humedad, etc, factores que influyen en la generación de hojuelas y por ende en las propiedades de los tableros OSB, Poblete (2001) y Sotomayor (2003). Más compleja se torna aún la situación cuando se emplean mezclas de especies de madera, ya que, por su estructura compleja como tal, transmiten sus propiedades hereditarias (Díaz-Vaz, 2003).

Zapata (2005) y Orellana (2006) indican que una característica importante de la madera es su estabilidad dimensional, la cual es distinta en cada especie y en gran medida esta dada por la densidad de ésta, la cual a su vez afecta en mayor grado las propiedades físicas y mecánicas de los tableros (Kelly, 1974; Poblete, 2001).

Son muchos los autores que apuntan a que la propiedad de mayor importancia en la madera en la fabricación de tableros u otro productos es la densidad (Vital et al., 1974; Kollman et al., 1974 y Poblete et al., 2006). Para Kelly (1974), cuando se desea determinar el potencial que posee una especie para confeccionar tableros de partículas, la densidad de la materia prima es el parámetro más crítico. Es así como Poblete (2001), indica que maderas de bajo peso requieren de menor energía para el corte, secado y transporte durante el proceso de fabricación.

Otra propiedad a considerar en la madera es su contenido de humedad, ya que, afecta directamente el proceso de secado y viruteado. En el caso del viruteado, bajos contenidos de humedad, aumentan el consumo de energía y deterioran con mayor rapidez el filo de los elementos de corte que posee el equipo. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el viruteado debe realizarse con contenidos de humedad elevados, pero esto produce un aumento en el consumo de energía en el proceso de secado.

Una característica a considerar es el estado sanitario de la madera, ya que, ésta afecta directamente el rendimiento del proceso. De acuerdo con Poblete (2001) los agentes bióticos se alimentan de madera produciendo pérdida de masa, que finalmente se traduce en pérdida de densidad. Los hongos manchadores que aparte de producir un cambio de color de la madera, tienen la particularidad que cuando se alimentan introducen sus hifas

cortando la pared celular reduciendo el largo de las fibras. Los efectos del ataque de estos agentes se traduce finalmente en la pérdida de rendimiento, pérdida de propiedades del tablero, exceso de producción de finos y polvo durante el viruteado y refinado de las partículas (Poblete, 2001).

Otros factores a considerar que influyen en las propiedades de los tableros OSB son los referentes al proceso de producción propiamente tal, es así como la producción de hojuelas con adecuadas dimensiones es de vital importancia para obtener tableros con buenas propiedades (Poblete, 2001).

Según Zapata (2005) y Orellana (2006), para producir tableros OSB se requieren partículas largas y anchas de aproximadamente 75 mm de largo, 6 – 38,1 mm de ancho y 0,3 – 0,7 mm de espesor. La calidad de la hojuela esta altamente influenciada por el diámetro de la troza, el estado del filo del cuchillo y el tipo de viruteador, en general se emplean viruteadores de discos (Poblete, 2001). Las dimensiones de hojuelas si bien tienen una importancia técnica en cuanto a la fabricación de tableros, también influyen en el rendimiento de la materia prima, por ello la planta posee un sistema de clasificación de hojuela para el proceso, el cual separa la hojuela en material: grueso, mediano (parámetro aceptable para la empresa) y fino.

En el Cuadro 1 se observa las aberturas de las mallas de la maquina de cribado (tamizado) y su correspondiente clasificación en material: grueso, mediano y fino.

**Cuadro 1.** Abertura de malla (pulgadas) y clasificación.

<b>1 (1/2)"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/8"</b>	<b>1/4"</b>	<b>1/8"</b>	<b>FONDO</b>
Mat. grueso	Mat. mediano			Mat. fino		

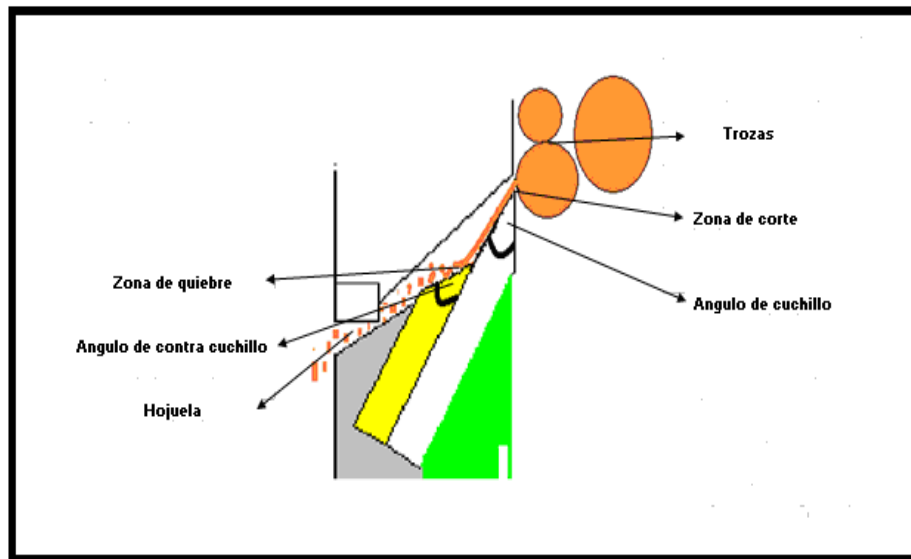
Uno de los factores más relevante para este estudio son los ángulos de contra cuchillos, los cuales son piezas muy similares a un cuchillo, que se posiciona en el interior del equipo hojelero. Son muy importantes en la producción de hojuelas, ya que, son los encargados de dar el ancho de ésta (Stiglbauer et al., 2006). Esto se debe a que una vez que se produce el corte de la lámina de madera, ésta se introduce hacia el interior del equipo chocando con el contra cuchillo, realizando un quiebre de la lamina formándose las hojuelas (Figura 1). Por lo tanto, las variaciones de éstos puede modificar de forma importante la granulometría de las hojuelas. En la Figura 2 se muestra un esquema de perfil del equipo hojelero, donde se aprecia los contra cuchillos que conforman el sistema de corte de este equipo (Louisiana Pacific Chile, 2003).

De acuerdo al informe técnico realizado por el departamento de control de proceso de LP Chile, se determinó que el ángulo de contra cuchillo es un factor importante en la granulometría de las hojuelas generadas para el proceso. Los resultados preliminares indicaron que cuando se realizan variaciones en el ángulo de contra cuchillo de un ángulo menor a uno mayor, el material apto para el proceso (hojuela mediana) aumentaba en porcentaje, en cambio, el material grueso disminuía en porcentaje. Por otro lado, el material fino aumentaba o disminuía según la mezcla que se estaba ocupando (Cuadro 2).

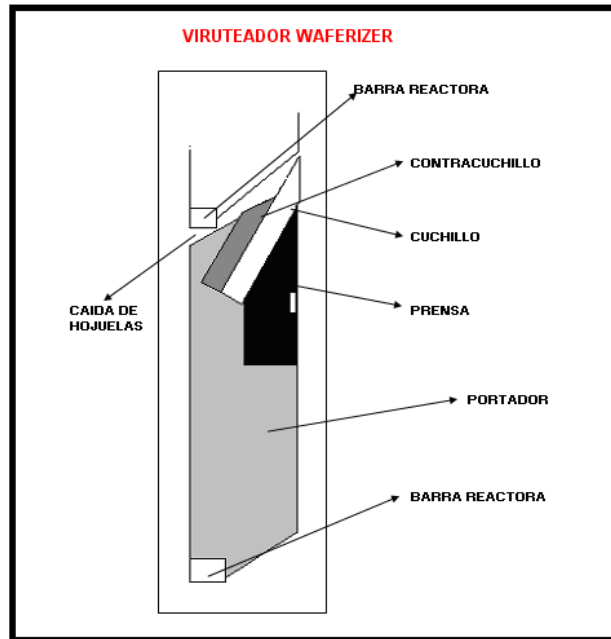
**Cuadro 2.** Variación del tamaño de hojuela para mezcla M1 y M2 (%).

Especie	Granulometría	Ángulo de contra cuchillo.	
		(45/50)°	(50/55)°
M1	Grueso	12,42	9,28
	Mediano	71,01	75,91
	Fino	16,56	14,82
M2	Grueso	12,59	9,23
	Mediano	75,66	78,35
	Fino	11,75	12,42

**Figura 1.** Método de obtención de hojuela.

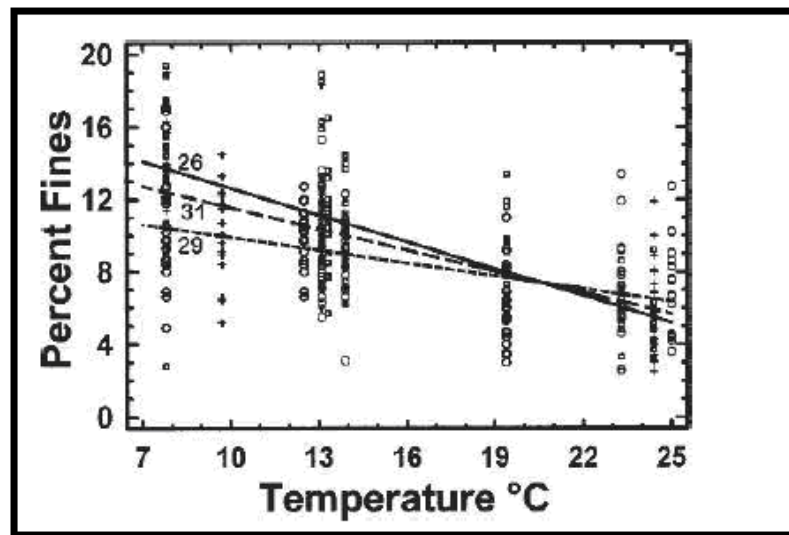


**Figura 2.** Esquema de perfil de equipo hojelero.



En el estudio realizado por Stiglbauer et al., (2006) en OSB, donde se analizó la influencia de la Temperatura y el ángulo del cuchillo en la generación de material fino, se confirmó que se puede reducir considerablemente la generación de material fino ajustando el ángulo de cuchillo a la temperatura ambiente. Se estableció una relación lineal entre la temperatura de almacenaje de la trozas y la generación de material para los ángulos de cuchillo ocupados (Figura 3). Se esperaba también que en el transcurso de tiempo de uso del cuchillo aumentara la cantidad de fino por pérdida de filo de este, cuestión que no fue confirmada.

**Figura 3.** Porcentaje de finos generado bajo distintos ángulos de cuchillo y distintas temperaturas ambientales.



Fuente: Stiglbauer et al (2006)

Por otro lado, Gaete y Shaler (2007) analizaron la influencia de la temperatura en troncos de *Populus grandidentata* en la geometría de hojuela de OSB, observaron que la temperatura tiene un efecto importante en ésta. Este comportamiento puede ser explicado según ellos, ya que, a temperaturas altas disminuye la rigidez y aumenta la plasticidad de la madera, en cambio, a temperaturas bajas esta se comporta más frágil. Sus resultados indicaron que al aumentar la temperatura de troza de 20° C a 60° C, la geometría de hojuela es menos irregular y se generan de mayor tamaño, aunque observaron una discontinuidad al aumentar la temperatura de -6° C a 20° C, ya que se produjo un efecto contrario al esperado, observando una reducción de la geometría de hojuela.

Se presenta así la necesidad de optimizar las características de la materia prima que ingresa al proceso productivo, en relación a las mezcla de especies nativas y exóticas para la fabricación de tableros OSB. La importancia radica en conocer cuales son las mezcla que permiten aumentar el rendimiento de materia prima y por ende disminuir la generación de finos y grueso, así como también mantener los tableros dentro de los márgenes de calidad requeridos por la certificación de calidad que tiene implementada la empresa. Dentro de otras consideraciones, está el hecho de establecer la factibilidad de trabajar mayoritariamente con ciertas especies en desmedro de otras, situación que deberá revisarse en cuanto a la disponibilidad, aspectos técnicos y económicos involucrados.

La experiencia y dominio de los procesos productivos permiten la optimización dinámica de las variables de éste, como un trabajo continuo y permanente, mientras más se conocen los equipos, está claro cuáles son los resultados esperados, se abren posibilidades de modificaciones que conlleven a la obtención de las metas definidas. En este ámbito las

industrias están en permanente proceso de cambio y optimización, ajustándose a cambios de todo tipo, enfocados a conseguir mejores productos, menores costos y mayores productividades.

La empresa Lousiana Pacific inició su operación en Chile recién el año 2002, en estos años han consolidado su posicionamiento en el mercado, sin embargo, la diversificación de sus productos y el mantenimiento de las calidades requeridas es clave para su permanencia y crecimiento, por este motivo el desarrollo de estudios tendientes a optimizar su proceso productivo es lo que respalda el presente trabajo.

El estudio consiste en evaluar el comportamiento de las hojuelas en cuanto a su tamaño y posterior clasificación mediante un tamizado, realizando variaciones en: los ángulos de contra cuchillo, la mezcla de especies y el tiempo de uso normal de un juego de cuchillos. De los cuales se observó su efecto individual y en conjunto en la granulometría de hojuela. El objetivo general de este estudio consiste en evaluar el efecto del ángulo contra cuchillo y mezcla de especies en la clasificación de hojuelas generadas para tableros OSB, cuyos objetivos específicos son: Caracterizar muestras de hojuelas de acuerdo a mezcla de especies y ángulos de contra cuchillo seleccionados; Analizar estadísticamente si la variación en forma individual y conjunta del ángulo de contra cuchillo, mezcla de especies y el tiempo de uso de los cuchillos, influye en la granulometría de hojuelas y determinar valores óptimos de los ángulos de contra cuchillo, la o las mezcla de especies y tiempo aproximado de uso de los cuchillos, que permitan obtener hojuelas dentro de los parámetros aceptables por la empresa.



## 2 Material y método.

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Generación de hojuelas

Las hojuelas necesarias para la experimentación, fueron obtenidas por medio de la utilización de mezcla de especies viruteadas bajo distintos ángulos de contra cuchillos, los cuales se detallan en los siguientes puntos.

##### 2.1.1.1 Mezcla de especies

La mezcla de especies a ocupar en la fabricación de hojuelas fueron seleccionadas gracias a experimentaciones anteriores hechas por la empresa, en las cuales se obtuvieron resultados satisfactorios en la producción de hojuelas para el proceso de producción de OSB:

- M1: 50% de nativo y 50% de Pino.
- EP: 50% de Eucalipto y por 50% de Pino.
- N: 100% nativo (mezcla en proceso de experimentación).
- EN: 50% de Eucalipto y por 50% de nativo (mezcla en proceso de experimentación).

##### 2.1.1.2 Angulo de contra cuchillo.

Los ángulos a experimentar en la generación de hojuelas se pueden observar en el Cuadro 3:

**Cuadro 3:** Ángulos de contra cuchillo a muestrear para OSB (°).

Ángulos de contra cuchillo (°)	
Interior	exterior
45	40
50	45
55	50

##### 2.1.1.3 Cuchillos

Se ocupó un juego de cuchillos por ángulo de contra cuchillo y mix de especie, en un lapso de trabajo normal de este juego. El tiempo de trabajo normal se determinó mediante el criterio desarrollado por la experiencia de la empresa en el proceso, este tiempo es de aproximadamente de 6 horas trabajo.

## 2.1.2 Clasificación de hojuelas.

### 2.1.2.1 Tamizadora

Para el proceso de clasificación de hojuela de acuerdo a su tamaño, se ocupó una máquina tamizadora de laboratorio, la cual esta compuesta de siete bandejas (Figura 4), cada una provista de una malla con diferente abertura (Cuadro 1).

**Figura 4:** Máquina tamizadora.



## 2.2 Método.

### 2.2.1 Obtención de muestras

La obtención de muestras se realizó a través de un conjunto de tubos, del cual se derivó hojuelas hacia el exterior, una vez que se completó el proceso de secado.

Las muestras fueron tomadas dentro del lapso de tiempo de duración de corte de los cuchillos de la máquina hojuelera, tiempo aproximado de 6 horas.

Este lapso de tiempo fue dividido en tres intervalos, esto para observar si el desgaste del cuchillo afecta la granulometría de la hojuela generada:

- **Intervalo 1:** Primeras dos horas de trabajo de cuchillo. Sin desgaste.
- **Intervalo 2:** Horas intermedia de trabajo desde las dos horas de trabajo hasta las cuatro horas de trabajo, desgaste intermedio.
- **Intervalo 3:** Horas finales de trabajo desde las cuatro hora hasta las seis horas de Trabajo, desgaste avanzado.

En cada uno de estos intervalos fueron tomadas 2 muestras, proporcionando un total de 6 muestras por ángulo de contra cuchillo, ascendiendo a un total de 18 muestras por especie. La cantidad de hojuelas requeridas dependió del flujo de hojuelas (Kg / s) que se derivó.

### **2.2.2 Proceso de tamizado.**

El tamizado de hojuela es un proceso que tiene un tiempo de duración de 10 minutos y consiste en ingresar 500 g de hojuela en la máquina tamizadora, la cual mediante un movimiento horizontal separa las hojuelas en las distintas bandejas que forman parte de ésta, según su granulometría (Louisiana Pacific Chile, 2001).

#### **2.2.2.1 Porcentaje de retención.**

Una vez separada la hojuela en su granulometría por muestra de intervalo, se procedió a realizar el cálculo del porcentaje de retención.

El porcentaje de retención es un término ocupado por la empresa para medir el rendimiento de las hojuelas una vez que han sido separadas por tamaño, este clasifica la hojuela en material grueso, mediano y fino (Manual de control de calidad QMS, 2003).

La formula para su cálculo es la siguiente:

$$\% \text{ Retención Grueso} = ((\text{peso grueso kg}) / (\text{total mallas})) * 100$$

$$\% \text{ Retención Mediano} = ((\text{peso mediano kg}) / (\text{total mallas})) * 100$$

$$\% \text{ Retención Fino} = ((\text{peso fino kg}) / (\text{total mallas})) * 100$$

### **2.2.3 Obtención de muestras de hojuela para tablero Siding.**

De manera de introducir a futuro un estudio sobre la influencia de las características de ángulo de contra cuchillo y especies de madera en la generación de hojuelas para la producción de Tablero Siding, es que se contempló la obtención de muestras de hojuelas, a partir de una mezcla de especie con una proporción de dos unidades de Pino por una unidad de especies nativa. Cabe destacar que ésta mezcla posee una mayor proporción de madera denominada blanda.

La obtención de muestras se realizó, a partir del mismo formato propuesto en la metodología de este estudio, con la diferencia que fueron obtenidas sin dividir las en intervalos de tiempo. Los ángulos de contra cuchillo a muestrear se observan en el Cuadro 4:

**Cuadro 4:** Ángulo de contra cuchillo a muestrear para Siding (°).

Ángulos de contra cuchillo(°)	
Interior	exterior
70	65
85	80

### 2.3 Análisis estadístico.

Los datos registrados se procesaron en el programa Statgraphics plus 5.1 desarrollado por Statistical Graphics Corp.

El análisis estadístico se dividió en dos etapas:

En la etapa uno se realizó un análisis estadístico trifactorial, de manera de evaluar la importancia estadística individual y conjunta de los factores estudiados (mezcla de especie, ángulo de contra cuchillo e intervalo de uso del cuchillo) sobre el porcentaje de retención de material grueso, mediano y fino. Para esto se utilizó la ventana comparación - análisis de varianza – anova factorial, del programa Statgraphics plus 5.1.

En la etapa dos se realizó un análisis bifactorial, de manera de evaluar la importancia estadística individual y conjunta de los factores estudiados (mezcla de especie y ángulo de contra cuchillo) sobre el porcentaje de retención de material grueso, mediano y fino. Para esto se utilizó la ventana comparación - análisis de varianza – anova factorial, del programa Statgraphics plus 5.1. Para este fin se tomaron 6 muestras más por ángulo de contra cuchillo de la forma ya establecida en la metodología, perteneciente a una nueva mezcla compuesta por especies nativas. Para el análisis comparativo de las medias entre los niveles de los factores, se utilizó el test de Duncan.

#### 2.3.1 Tratamiento trifactorial de efectos fijos.

El modelo de análisis de varianza de tres factores se representa de la siguiente forma:

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

Con:  $i= 1, \dots, a$  ( $a=3$ ).  
 $j= 1, \dots, b$  ( $b=3$ ).  
 $k= 1, \dots, c$  ( $c=3$ ).  
 $l= 1, \dots, n$  ( $n=54$ ).

Donde:

$Y_{ijkl}$ : l-ésima observación de porcentaje de retención (material grueso, mediano y fino) (i,j,k).

$\mu$ : Efecto de la media.

$\alpha_i$ : Efecto principal causado por el i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies).

$\beta_j$ : Efecto principal causado por el j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo).

$\gamma_k$ : Efecto principal causado por el k-ésimo nivel del factor C (Intervalo de uso del cuchillo).

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies) con el j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo).

$(\alpha\gamma)_{ik}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies) con el k-ésimo nivel del factor C (Intervalo de uso del cuchillo).

$(\beta\gamma)_{jk}$ : Efecto de la interacción del j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo) con el k-ésimo nivel del factor C (Intervalo de uso del cuchillo).

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies) con el j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo) y el k-ésimo nivel del factor C (Intervalo de uso del cuchillo).

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error aleatorio.

### 2.3.2 Tratamiento bifactorial de efectos fijos.

El modelo de análisis de varianza de dos factores se representa de la siguiente forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijkl}$$

Con:  $i= 1, \dots, a$  ( $a=3$ ).  
 $j= 1, \dots, b$  ( $b=3$ ).  
 $k= 1, \dots, c$  ( $c=3$ ).  
 $l= 1, \dots, n$  ( $n=72$ ).

Donde:

$Y_{ijl}$ : l-ésima observación de porcentaje de retención (material grueso, mediano y fino) (i,j).

$\mu$ : Efecto de la media.

$\alpha_i$ : Efecto principal causado por el i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies).

$\beta_j$ : Efecto principal causado por el j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo).

$(\alpha\beta)_{ij}$ : Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A (Mezcla de especies) con el j-ésimo nivel del factor B (Ángulo de contra cuchillo).

$\varepsilon_{ijkl}$ : Error aleatorio.

### 3 Presentación de resultados.

#### 3.1 Clasificación de hojuelas y parámetros de aceptación.

A continuación en el Cuadro 5 y 6 se presenta la clasificación de hojuelas según las retenciones obtenidas por mezcla de especies, ángulos de contra cuchillo y los parámetros de aceptación de las retenciones para la empresa respectivamente:

**Cuadro 5:** Retenciones por mezcla de especie y ángulo de contra cuchillo.(%)

<b>Nativo (N)</b>			
<b>Angulo</b>	<b>GRUESO</b>	<b>MEDIANO</b>	<b>FINO</b>
<b>40°/45°</b>	1,89	60,48	37,63
<b>45°/50°</b>	13,47	62,71	23,81
<b>50°/55°</b>	7,01	52,47	40,53
<b>Eucalipto y Nativo (E/N)</b>			
<b>40°/45°</b>	1,62	58,82	41,57
<b>45°/50°</b>	1,52	59,09	39,38
<b>50°/55°</b>	0,00	41,97	58,03
<b>Pino/Nativo (M1)</b>			
<b>40°/45°</b>	11,46	68,84	19,70
<b>45°/50°</b>	11,55	63,72	24,73
<b>50°/55°</b>	21,04	52,31	26,66
<b>Eucalipto y Pino (E/P)</b>			
<b>40°/45°</b>	3,64	56,25	40,11
<b>45°/50°</b>	4,80	61,51	33,69
<b>50°/55°</b>	20,95	53,91	25,14

**Cuadro 6:** Rango de retenciones aceptadas. (%)

<b>Retención/Tablero</b>	<b>OSB</b>	<b>SIDING</b>
<b>Fino</b>	10 – 40	20 - 30
<b>Mediano</b>	50 - 80	70 - 80
<b>Grueso</b>	0 - 15	0 - 10

### **3.2 Análisis mezcla de especies y ángulo de contra cuchillo con respecto al rendimiento**

De acuerdo con el Cuadro 5, se observa que tanto el tipo de mezcla como ángulo de contra cuchillo, generan un efecto en las retenciones de hojuela, el cual es corroborado estadísticamente con un modelo bifactorial, es así como en aquella mezcla donde la densidad de las especies es alta (a excepción de Pino) como N, E/N y E/P, tienden en general a generar mayor cantidad de material fino, por el contrario, M1 una mezcla de especie de baja densidad comparada con las anteriores, tiende a generar menor cantidad de material fino, en general para todo ángulo de contra cuchillo.

La mezcla de especie que obtiene un mayor rendimiento en cuanto a generación de mediano, material óptimo para la generación de tableros OSB es M1 (Cuadro 5), seguido por N, E/P y finalmente E/N. Como se mencionó anteriormente M1 es la mezcla que tiende a generar menor cantidad de material fino, por lo tanto, es la mezcla ideal para el proceso de producción en cuanto a rendimiento.

En cuanto a los ángulos de contra cuchillo en el Cuadro 5, se observa que la mayor retención de material mediano para las mezclas se obtuvo en general con el ángulo de 45°/50°, por el contrario, el ángulo con el cual se obtiene las menores retenciones de material mediano es 50°/55°, parámetro a tomar en cuenta a la hora de producir hojuelas especialmente en mezclas que posean madera de alta densidades.

### **3.3 Análisis en cuanto a los rangos de aceptación de las retenciones de hojuelas.**

De acuerdo al Cuadro 6 y comparando con el Cuadro 5, se observa que la mezcla N para todo ángulo de contra cuchillo, cumple con los requerimientos de aceptación de la empresa en la retención de material fino, mediano y grueso, sin embargo, los ángulo 40°/45° y 50°/55° si bien cumplen con lo requerido, se debe tomar en cuenta la alta generación de material fino, lo que significa una pérdida de rendimiento que se traduce en un aumento de costos de producción, por lo tanto, el ángulo ideal para trabajar en esta mezcla es 45°/50° (Cuadro 5).

Para la mezcla E/N el ángulo que está dentro de los requerimientos de aceptación es 45°/50° (Cuadro 5), sin embargo, esta mezcla tiene una tendencia alta en generación de material fino para todo ángulo, por lo tanto, sería conveniente antes de ser ocupada en la producción de hojuelas, realizar pruebas disminuyendo el grado de los ángulos de contra cuchillo con respecto a los ocupados en este estudio (40°/45°, 45°/50° y 50°/55°), de manera de observar si disminuye la cantidad de material fino y así corroborar la tendencia en la generación de material de tamaño menor en especies densas con ángulos de contra cuchillo de mayor grado.

Para mezcla M1 los ángulos que se encuentran dentro de los requerimientos aceptados son 40°/45° y 45°/50°, para el ángulo 50°/55° se observa que el material grueso no cumple con la exigencia de retención y su valor resulta demasiado alto respecto a los dos anteriores, posiblemente esto se deba a la alta variabilidad existente en la madera de especies nativas que se viruteo al momento de realizar la prueba. Esta mezcla tiene una tendencia en la

generación de hojuela mediana que favorece la producción en cuanto al rendimiento de materia prima, por lo tanto y tomando en cuenta que ésta es ocupada con mayor frecuencia en la planta para fabricación de OSB, sería recomendable hacer estudios en relación a la influencia de la variabilidad en diámetro de troza y ataque de agentes bióticos de las especies nativas en la generación de hojuelas. Para esta mezcla el ángulo ideal para la generación de hojuelas corresponde a 45°/50° (Cuadro 5).

Para mezcla E/P los ángulos que están dentro de los requerimientos aceptados es 40°/45° y 45°/50°, sin embargo, esta mezcla igual que N y E/N tiene tendencia a generar material fino, por lo tanto, también se recomienda disminuir los ángulos con respecto a los ocupados en este estudio, para observar si disminuye la generación de este material. Cabe destacar que para el ángulo 50°/55° la retención de material grueso con respecto a los ángulos anteriores es mucho mayor, efecto que coincide con la retención obtenida en la mezcla M1 para el mismo ángulo, lo anterior se puede explicar por que las trozas de eucalipto presentan gran variabilidad en cuanto a diámetro y curvatura de troza. Para esta mezcla el ángulo ideal para la generación de hojuelas corresponde a 45°/50° (Cuadro 5).

De acuerdo a lo observado en el Cuadro 5 la mejor mezcla de especies para conveniencia de la empresa en la generación de material dentro de los parámetros aceptados es M1, por el contrario la peor mezcla es E/N.

Cabe destacar que aquellas mezclas donde la generación de finos es alta, perfectamente pueden ser ocupadas en la fabricación de Siding, que es un tipo de tablero que en sus caras posee una gran proporción de finos, de manera de poder adherirle un papel especial que lo hace resistente a la humedad.

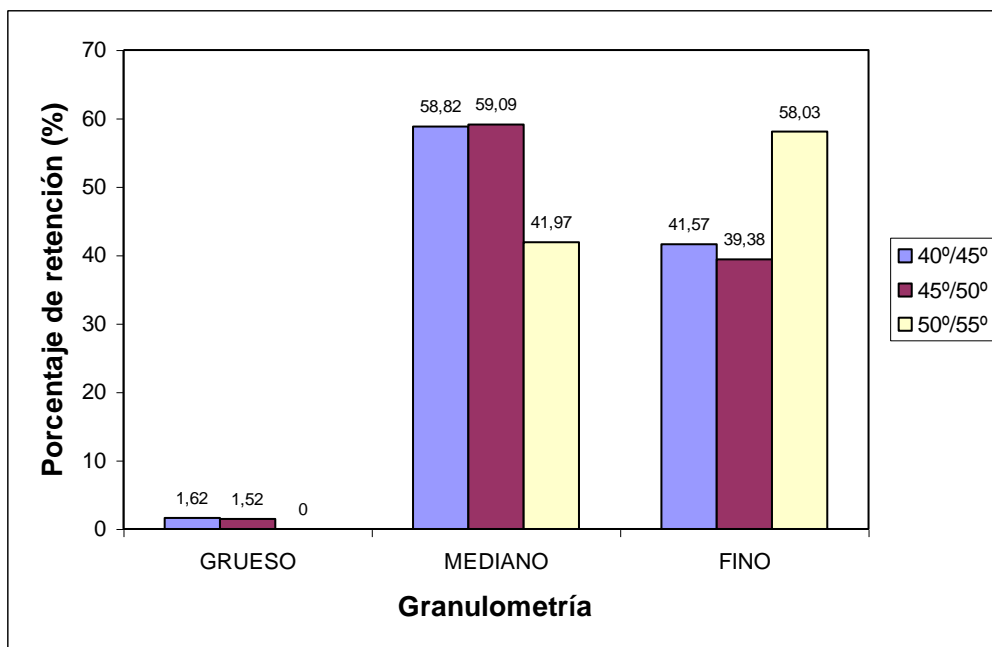
### **3.4 Análisis de retención por mezcla especie.**

#### **3.4.1 Retención para mezcla E/N.**

A continuación se presentan los resultados de retención de material mediano, grueso y fino para la mezcla de especie E/N (Figura 5).



**Figura 5:** Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla E/N.



En el Figura 5, se observa que la condición de ángulo donde se registró mayor cantidad de material mediano es 45°/50° obteniéndose una retención de 59,09%, seguido por 40°/45° con un 56,82% y 50°/55° con un 41,57% de la retención.

Observando la retención en el material grueso los ángulos 40°/45° y 45°/50° obtuvieron retenciones muy parecidas con 1,62% y 1,52% respectivamente, en cambio en la condición 50°/55° no registró retención.

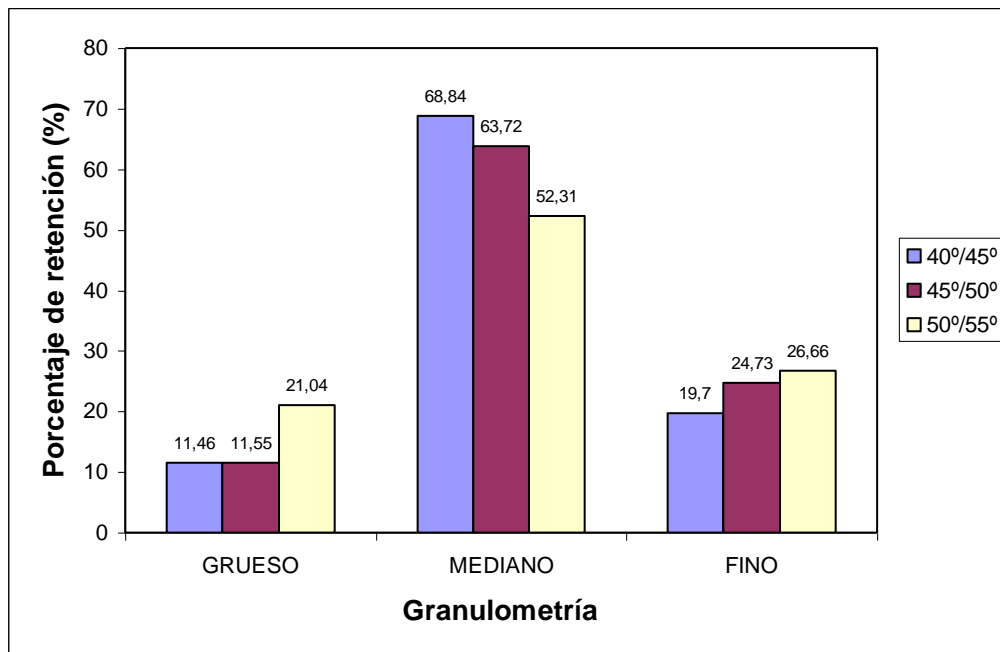
En la retención de material fino, se puede observar que la condición donde se obtuvo mayor retención es 50°/55° con un 58,03% seguido por 40°/45° con 41,57%, finalmente 45°/50° con 39,38%.

En el Figura 5, se observa que la mezcla tiene la tendencia a generar hojuelas de tamaños menores (fino), esto puede estar fuertemente influenciado por las especies, la cuales poseen densidades altas, esto implica que las maderas sean mas rígidas, por lo tanto, las hojuelas son mas quebradizas al entrar en contacto con el contra cuchillo, generando material fino. Además en el caso de Eucalipto el abastecimiento de trozas, es con una alta variabilidad de diámetro y curvatura, por otro lado, en las especies nativas la calidad de troza es muy variable tendiendo a la mala calidad, debido a que se observa ataque de agentes bióticos, los cuales están influyendo en la tendencia.

### 3.4.2 Retención para mezcla M1.

A continuación se presentan los resultados de retención de material mediano, grueso y fino para la mezcla de especie M1 (Figura 6).

**Figura 6:** Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla M1.



En el Figura 6, se observa que la condición de ángulo donde se registró la mayor retención de material mediano es 40°/45° con 68,84%, seguido por 45°/50° obteniéndose una retención de 63,72% y 50°/55° con 52,31% de la retención.

Observando la retención en el material grueso los ángulos 40°/45° y 45°/50° obtuvieron retenciones muy parecidas con 11,46% y 11,55% respectivamente, en cambio en la condición 50°/55° registró la mayor retención con 21,04%.

En la retención de material fino la mayor retención se registró en la condición 50°/55° con 26,66%, seguido por 45°/50° con un retención de 24,73%, finalmente 40°/45° con 19,70%.

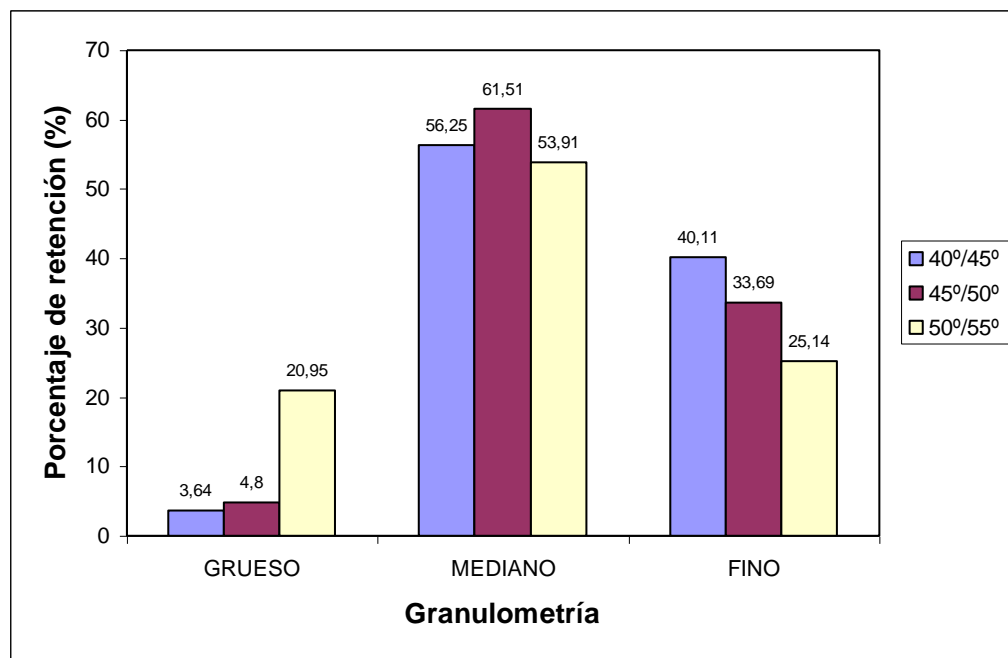
En el Figura 6, se observa que para esta mezcla existe una cierta homogeneidad entre material grueso y fino, tendiendo a una buena retención al material mediano. Este comportamiento puede estar influenciado por la presencia de madera de Pino, la cual, es de una densidad menor a la de especies nativas, por lo tanto, es una madera mas elástica que tiende a soportar la deformación al entrar en contacto con el contra cuchillo, esto implica la generación de material de mayor tamaño en especial mediano, en contraposición con las especies nativas que por su densidad presentan mayor rigidez generando material fino.

También cabe destacar que la calidad de la madera de Pino es mayor que las especies nativas que presentan variabilidad en diámetro y ataque de agentes bióticos, lo cual influye en la generación de material fino.

### 3.4.3 Retención para mezcla E/P.

A continuación se presentan los resultados de retención de material mediano, grueso y fino para la mezcla de especie E/P (Figura 7).

**Figura 7:** Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla E/P.



En el Figura 7 se observa que la condición de ángulo donde se registró la mayor retención de material mediano es 45°/50° con 61,51%, seguido por 40°/45° registrándose una retención de 56,25% y con 50°/55°, 52,31% de retención.

Observando la retención en el material grueso la condición 50°/55° registró 20,95%, seguido 45°/50° con 4,8%, finalmente 40°/45° con 3,64%.

En la retención de material fino la mayor retención se registró en la condición 50°/55° con 26,66%, seguido por 45°/50° con 24,73%, finalmente 40°/45° con 19,70%.

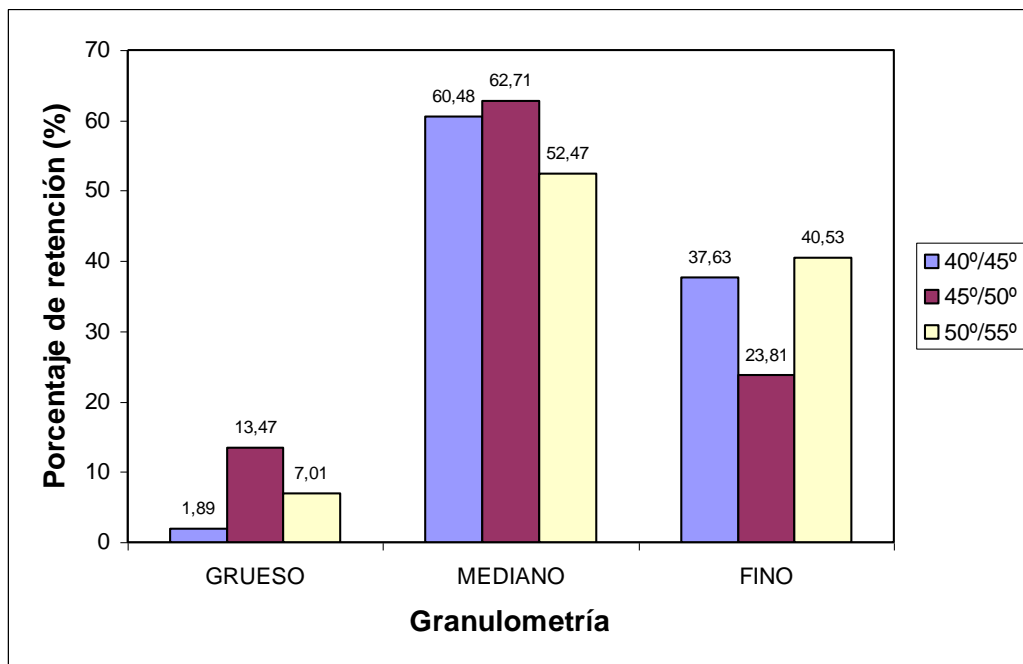
En el Figura 7 se observa la influencia de la madera de Eucalipto que tiende a generar partículas de menor tamaño por su alta densidad, éste efecto se ve compensado en la distribución en la retención con la influencia de madera de Pino, que por su densidad menor, tiende a generar hojuelas de mayor tamaño. Cabe destacar que la calidad de la

madera de Pino es mayor que la de Eucalipto, por lo tanto, presumiblemente la retención puede verse afectada por este efecto.

### 3.4.4 Retención para mezcla N.

A continuación se presentan los resultados de retención de material mediano, grueso y fino para la mezcla de especie N (Figura 8).

**Figura 8:** Porcentaje de retención bajo distintos ángulos de contra cuchillo para mezcla N.



En el Figura 8 se observa que la condición de ángulo donde se registró la mayor retención de material mediano es 45°/50° con 62,71% seguido por 40°/45° registrándose una retención de 60,48% y 50°/55° con 52,41% de retención.

Observando la retención en el material grueso la condición 45°/50° registro la mayor retención con 13,47%, seguido 50°/55° registrando una retención de 7,01%, finalmente 40°/45° con 1,89%.

En la retención de material fino la mayor retención se registró en la condición 50°/55° con 40,53%, seguido por 40°/45° con un retención de 37,63%, finalmente 45°/50° con 23,87%.

En el Figura 8 se observa que esta mezcla tiende a generar hojuelas de tamaños menores, tanto material fino como mediano, esto puede estar influenciado por la variabilidad de densidades entre las especies de la mezcla y su calidad.

### **3.5 Análisis entre mezclas de especies.**

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se observa que las mezclas de especies que tuvieron mayor retención de material fino son: E/N, E/P y N. Este comportamiento puede estar influenciado principalmente por que estas mezclas de especies están compuestas por maderas de densidades altas como el Eucalipto y especies nativas. Otra característica importante que presentaban las especies, es que las trozas de Eucalipto tenían gran variabilidad en diámetro y curvatura. En el caso de las especies nativas se observaban deterioros por agentes bióticos.

En cuanto a la retención de material grueso se puede observar que en las mezclas: E/N, E/P y N, las retenciones fueron bajas. Esta condición está fuertemente relacionada con la retención de material fino de estas mezclas, ya que tienen la tendencia de generar hojuelas de tamaños menores.

En el material mediano se observa que las mezclas obtuvieron retenciones más homogéneas, destacándose M1, E/P y N. En el caso de las dos primeras este comportamiento puede estar influido principalmente por las características de la madera de Pino que posee una densidad menor.

### **3.6 Análisis por ángulo de contra cuchillo.**

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se observa que en general las mayores retenciones de material mediano se obtuvieron con un ángulo de 45°/50°.

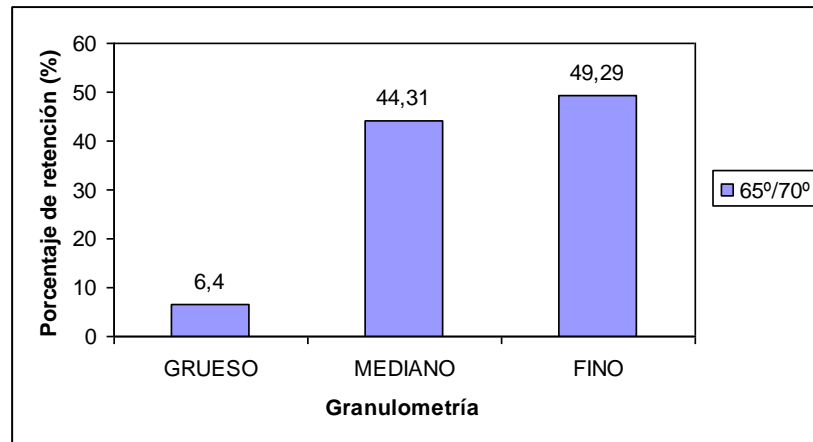
En cuanto al material grueso se observa que en general las mayores retenciones se obtuvieron con un ángulo de 50°/55°, aunque influenciado por el tipo de mezcla en la que se está trabajando específicamente con Pino.

Las mayores retenciones de material fino generalmente se observan con una condición de ángulo de 50°/55°, influenciado principalmente por especies de densidades altas como Eucalipto y nativas, esto se puede explicar debido a que al ser un ángulo pronunciado, la deformación de la hojuela es mayor provocando el quiebre ésta cuando entra en contacto con el contra cuchillo.

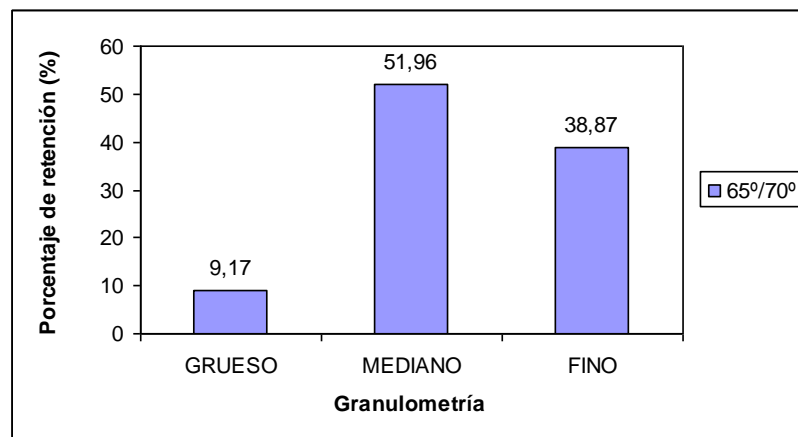
### **3.7 Resultados obtenidos en la experimentación de hojuela de tablero Siding.**

En las Figuras 9 y 10 se muestran los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje total de retención de material grueso, mediano y fino, obtenido en la mezcla de especies 2P/1N bajo los ángulos de contra cuchillo de 80°/85° y 65°/70°. Cabe destacar que se trata de una mezcla de especies con una mayor proporción de madera denominada blandas.

**Figura 9:** Porcentaje de retención para ángulo de contra cuchillo 80°/85° y mezcla 2P/N.



**Figura 10:** Porcentaje de retención para ángulo de contra cuchillo 65°/70° y mezcla 2P/N



En las Figuras 9 y 10 se observa que al aumentar el ángulo de contra cuchillo de 65°/70° a 80°/85° aumenta la generación de material fino. Este comportamiento puede estar influenciado por la pronunciación del ángulo 80°/85°, el cual al entrar en contacto con la madera produce el quiebre de esta generando anchos de hojuela pequeños, por lo tanto disminuye la granulometría. Cabe destacar que en esta mezcla se ocupó una mayor proporción de madera de densidad baja, por lo tanto, si se observa los ángulos de contra cuchillo y se compara con las retenciones obtenidas con los ángulos ocupados en las otras mezclas (M1, E/P, E/N y N), hay una tendencia en las especies de baja densidad en generar partículas pequeñas en ángulos de contra cuchillo de mayor grado y por el contrario a mayor densidad se genera partículas de tamaño mayor con ángulos de menor grado. Sería interesante en un estudio posterior realizar aumentos y disminuciones en los ángulos de contra cuchillo para esta mezcla, de manera de corroborar esta tendencia de la especie de baja densidad.

### **3.8 Análisis estadístico.**

#### **3.8.1 Tratamiento trifactorial**

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico trifactorial se puede apreciar que todos aquellos efectos e interacciones que su P-valor es inferior a 0.05, tienen una importancia estadística en la variación del porcentaje de material grueso, mediano y fino con un 95% de confianza (ANEXO 1, Cuadros 1, 2 y 3). En resumen, tanto en material grueso como mediano se obtuvo que los factores de importancia estadística son la mezcla de especies y ángulo de contra cuchillo, por el contrario, para material fino los tres factores (mezcla de especies, ángulo de contra cuchillo y intervalo de uso del cuchillo) son estadísticamente importantes.

Si bien se comprueba que el intervalo de tiempo de uso del cuchillo posee una importancia estadística en la variación del porcentaje de material fino. Se realizó un análisis de los componentes de la varianza, de manera de poder observar su verdadera importancia en la contribución de la variación del porcentaje de material fino. El análisis indicó (Cuadro 4, ANEXO 1), que el factor que contribuye en mayor grado en la variación del porcentaje de material fino son la mezcla de especies con un 64,27% de la variación, seguido por el factor ángulo de contra cuchillo con un 24,72% de la variación. Por otro lado el factor intervalo de tiempo de uso del cuchillo contribuye con un 5,3%, el cual comparado con los otros dos factores y tomando en cuenta el error con un 5,72%, su contribución es despreciable. Por lo tanto se tomó la decisión de excluir el intervalo de tiempo de uso del cuchillo del análisis estadístico por su nula participación en la variación del porcentaje de material grueso, mediano y fino, por lo tanto, se replantea el modelo a un bifactorial de efectos de fijos.

#### **3.8.2 Tratamiento bifactorial.**

De los resultados del análisis estadístico se puede apreciar que todos aquellos efectos e interacción que su P-valor es inferior a 0,05, tienen una importancia estadística en la variación del porcentaje de material grueso, mediano y fino, con un 95% de confianza. En el ANEXO 2, se observa que tanto la mezcla de especies, ángulo de contra cuchillo y su interacción poseen importancia estadística en las retenciones de material grueso, mediano y fino.

##### **3.8.2.1 Análisis de Comparación de medias.**

De manera de comprobar que efectivamente existe diferencias estadísticas entre las medias de la mezcla de especies y entre las medias de los ángulos de contra cuchillo, es que se realizó un análisis de contrastes múltiples de rangos para porcentajes de material grueso, mediano y fino por medio del método de Duncan para mezcla de especies y ángulos de contra cuchillo, con un 95% de confianza y un 5% de error o riesgo. En el ANEXO 3 se puede apreciar que todos aquellos contrastes que su diferencia de medias es acompañada con un asterisco (\*), indican que sus medias tienen una diferencia estadística significativa

con un 95% de confianza y un 5% de riesgo de considerar que uno o más pares de grupo sean diferente, siendo que su real diferencia es cero.

Estadísticamente se comprueba que en la generación de material grueso, fino y mediano, existen diferencias de retenciones entre especies y entre ángulos de contra cuchillo, lo cual corrobora el análisis bifactorial que indica la importancia estadística de estos factores en la retención.



#### 4 Discusión de resultados

Se comprobó que tanto la mezcla de especies y ángulos de contra cuchillo son factores que influyen en la distribución del tamaño de hojuelas, sin embargo no es posible discriminar cual de estos factores es el más influyente.

Lo anterior concuerda con lo observado en el departamento de control de proceso de LP Chile al iniciar este estudio. Se tenía previsto que al aumentar en ángulo de contra cuchillo la distribución de hojuela tendiera hacia un tamaño de hojuela menor, cuestión que aconteció generalmente, pero sin haber determinado la causa real.

También se esperaba que al pasar el tiempo de uso del cuchillo aumentara la generación de material fino por desgaste del filo, pero al igual que el estudio realizado por Stiglbauer et al. (2006), donde se observó la generación de finos en un ciclo de uso de cuchillos del equipo hojuelero no se pudo determinar su incidencia.

En la distribución del tamaño de hojuela se observó que en aquellas mezclas donde existen maderas de alta densidad como Eucalipto y Nativo, en especial el primero, el tamaño de hojuela es menor, por el contrario en aquellas mezclas donde existe madera de densidad más baja como el Pino, la distribución tiende hacia la generación de hojuelas de mayor tamaño, indicando que la densidad es un factor a considerar en estudios posteriores relacionados, ya que, afecta el esfuerzo de corte de la hojuela (Poblete, 2001).

Cabe destacar que este estudio se realizó y comenzó en época de verano y se terminó en época de otoño, donde se obtuvieron las últimas muestras de hojuelas. La variación de temperatura ambiente de una estación a otra es alta en la zona, por lo tanto tomando en cuenta los antecedentes bibliográficos de Gaete y Shaler (2007) y de Stiglbauer et al., (2006), donde demostraron que la temperatura de troza es un factor importante a tomar en cuenta en la generación de tamaño de hojuela, es posible que ésta haya sido afectada por este fenómeno. Sería interesante muestrear hojuelas en la época de temperatura más baja con las mismas mezcla de especies y compararlo con los datos obtenidos en este estudio, de manera de observar como se comporta el tamaño de hojuela y así precisar si es conveniente realizar cambios en el ángulo del cuchillo como lo recomienda Stiglbauer et al (2006).

El rendimiento en la generación de hojuela para este estudio se midió en cuanto a la generación de material mediano, el cual es óptimo para el proceso de producción de tableros y asegura buenas propiedades para éstos (Zapata, 2005). De manera que se evidencia la necesidad de caracterizar de mejor forma la materia prima de ingreso al proceso productivo, dado que la materia prima para la generación de hojuelas y finalmente la producción de tableros OSB, no posee clasificación sistemática de diámetro, curvatura,

contenido de humedad, densidad y estado sanitario de las trozas, especialmente en especies nativas y Eucalipto.

Lo anterior puede haber afectado los resultados de las retenciones, ya que la suma de todos esos factores influyen en la generación de material de menor tamaño (Poblete, 2001). La importancia para la empresa se centra en encontrar una buena relación entre mezcla de especies y ángulos de contra cuchillos sin considerar mayormente las propiedades de la madera, condición bajo la cual han operado desde sus inicios, basados además en experiencias norteamericanas de Lousianna Pacific, quienes trabajan con mezcla de especies coníferas y latifoliadas, de diferentes densidades, diámetros, densidades etc. este proceso productivo está diseñado para abastecerse con materias primas diversas y este procedimiento ha dado resultado, sin embargo en la búsqueda por alcanzar estándares de calidad más elevados, es necesario mejorar las variables de ingreso y ser más selectivos en la obtención de hojuelas.

En estudios como los desarrollados por Vital et al., (1974); Kollman et al., (1975) y Poblete et al., (2006), se indica que las propiedades de la madera son factores ha tomar en cuenta al fabricar productos de madera, por lo tanto, sería recomendable que al iniciar nuevas investigaciones en granulometría de hojuelas, se contemple una caracterización más detallada de la materia prima empleada, de manera que los resultados puedan ser analizados considerando estos factores de variación. Esta materia no se consideró, dado que la empresa no lleva un registro detallado de especies, diámetros y estados sanitarios, sin embargo ha sido una falencia para la interpretación más precisa de los resultados obtenidos.

Por lo tanto, es aconsejable un estudio acabado incluyendo estos factores, de manera de acercarse cada vez más a un óptimo de producción de hojuelas para el proceso de producción de tableros OSB.

También sería interesante observar la generación de hojuela por especie, ya que, así se podría precisar cuales son más propensas a generar hojuelas de tamaño óptimo y bajo qué condiciones ello es posible.

Cabe destacar que a pesar de la clasificación de hojuelas, de todas formas tanto el material grueso como fino es ocupado en el proceso de producción, aumentando de esta manera el rendimiento de proceso, pero sacrificando las propiedades óptimas que podrían obtenerse. El material grueso es incorporado completamente a la producción sin reprocesarlo, es decir, disminuyendo su tamaño a mediano.

Por otro lado, el material fino es incorporado en un porcentaje como combustible para la caldera de secado y otro porcentaje al tablero. Como ya fue mencionado anteriormente, el material fino es importante para ser ocupado como combustible, ya que si se eliminara un porcentaje de su producción, la empresa se vería obligada a complementar con gas, cuestión que aumentaría el costo de producción del tablero.

La obtención de una granulometría de hojuelas optimizada en función de las especies y sus particulares características permitiría mejorar las propiedades físico mecánicas de los tableros fabricados y por ende diversificar los tipos de productos a fabricar.

Este estudio ha aportado a clarificar la importancia de las modificaciones de ángulo de contra cuchillos incorporadas, así como las variaciones de granulometría de hojuelas que se producen por las mezclas de especies, sin embargo, requiere precisar más las características de cada especie para optimizar realmente la obtención de hojuelas.

Se comprende el procedimiento de la empresa, en términos de producir hojuelas en mezcla, sin diferenciar por especies o diámetros, debido a que ésta es la manera de operación habitual y estos son los datos que en definitiva servirán para modificar variables de proceso, sin embargo, para fines científicos de respaldar y recomendar las condiciones óptimas de granulometría de hojuelas, la información obtenida resulta insuficiente y no puede ser inferida completamente, además de no poder interpretarse los resultados de mejor forma.

## 5 Conclusiones

- Tanto la mezcla de especies como ángulo de contra cuchillo son factores importantes en la variación de tamaño de hojuela en el proceso de fabricación de tablero OSB, ya que, se observaron distintas retenciones de material. En cambio, para el tiempo de uso del cuchillo no se determinó su importancia estadística, presumiblemente su efecto se vio disminuido por la calidad de la madera que abastece la planta.
- La retención de hojuelas en mezclas de alta densidad (N, E/N y E/P), tienden a generar mayor cantidad de material fino, en cambio en mezcla de densidad baja (M1), se observa tendencia a generar mayores retenciones de material mediano y material grueso.
- En 3 de los 4 casos estudiados, el ángulo de contra cuchillo que genera mayor cantidad de material fino es 50°/55°. Por el contrario, aquel que genera un tamaño de hojuela mediano, es 45°/50°. Para el material grueso las mayores retenciones se obtuvieron con un ángulo de 50°/55, pero dependió de la mezcla en que se estaba trabajando.
- El mayor rendimiento de hojuelas en cuanto a material aceptado por la empresa se obtuvo con la mezcla M1 con un 68,84%, seguido por N con un 62,71%, E/P con un 61,51% y E/N con un 59,09%.
- En cuanto a ángulo de contra cuchillo el mayor rendimiento se logró con ángulos 40°/45° en mezcla M1, en cambio para las otras mezclas, los mayores rendimientos se obtuvieron con un ángulo de 45°/50°.

## 6 Bibliografía.

- CAMPOS, José M y ESPINOZA, Patricio H 2005. Estudio de optimización del control de la etapa de encolado del proceso de fabricación de los productos OSB de la empresa Louisiana Pacific Chile S.A. Tesis (para optar al título de Ingeniero Mecánico; Ingeniero Eléctrico). Valdivia, Chile. Universidad Austral, Escuela De Ingeniería Mecánica. 197 p.
- DÍAZ-VAZ, J. 2003. Anatomía de la madera. 1º edición. Editorial Marisa Cuneo ediciones. Valdivia. Chile. pp. 15-19.
- GAETE, Victor y SHALER, Stephen M. 2007. Influence of log temperature in irregularities on strand geometry detected by digital image analysis. *Maderas, Cienc. tecnol.*, vol.9, no.3, p.211-221.
- JAIMES, Indira. Junio 2006. El OSB: Un aglomerado sin muchos adeptos por desconocimiento. *Revista Mueble y la Madera*. 56: (121-128).
- KELLY, M. 1977. Critical literature review of relationships between parameters and physical properties of particleboard. USDA Forest Service. General Tech. Report. FPL, 64p.
- KOLLMANN, E; KUENZI, E y STAMM, A. 1975. Principles of Wood Science and Technology II. Woods based materials: 312-550.
- LOUISIANA PACIFIC CHILE. 2003. Manual de procesos (MP). Documento interno de la empresa pp. 1-90.
- LOUISIANA PACIFIC CHILE. 2001. 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.
- ORELLANA Higuera, Lorena Alejandra. 2006. Efecto de la densidad y la cantidad de adhesivo sobre propiedades de tableros OSB. Tesis (Para optar al título de Ingeniero en Madera). Valdivia, Chile. Universidad Austral, Facultad De Ciencias Forestales,. 40 pp.
- POBLETE, H. 2001 Tableros de partículas 1º edición. Chile. Editorial El kultrun. Vol 1. p 177.
- POBLETE W, Hernán y VARGAS C, Roque. Relación entre densidad y propiedades de tableros HDF producidos por un proceso seco. *Maderas, Cienc. tecnol.*, 2006, vol.8, no.3, p.169-182.

- PECHO, Robert, ANANIAS, Rubén A, BALLERINI, Aldo *et al.* Influencia de la madera juvenil de pino radiata sobre las propiedades mecánicas de tableros osb. *Maderas, Cienc. tecnol.*, 2004, vol.6, no.1, p.45-59.
- SOTOMAYOR, J.R. 2003. Caracterización mecánica de madera reconstituida: módulo de elasticidad de tableros de partículas de madera evaluado con métodos no destructivos. *Maderas, Cienc. tecnol.*, vol.5, no.1, p.20-43. ISSN 0718-221X..
- STIGLBAUER Paul., CONNERS Terrance, BANERJEE Sujit. October 2006. Influence of knife angle and ambient temperature on fines generation from flakers. *Revista Forestal Forest Products Journal* , 56(10): 86-89.
- VITAL, B; KHEMAN, W. y BOONE, R. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. *For. Prod. Journal* 24(12); 37-45.
- ZAPATA Norambuena, Claudia Andrea. 2005. Efecto de la mezcla de *Pinus radiata* y especies nativas sobre la expansión lineal en tableros OSB. Tesis (Para optar al título de Ingeniero en Madera). Valdivia, Chile. Universidad Austral, Facultad De Ciencias Forestales,. 44 pp..

## A N E X O S

- ANEXO 1 : Cuadro de resultados análisis trifactorial y análisis de los componentes de la varianza.
- ANEXO 2 : Tabla de resultados análisis bifactorial
- ANEXO 3 : Cuadro de resultados análisis contrastes múltiples.

## ANEXO 1

### CUADRO DE RESULTADOS ANÁLISIS TRIFACTORIAL Y ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE LA VARIANZA



**Cuadro 1:** Análisis de varianza para porcentaje de material grueso.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>Efectos Principales</b>					
A: Especies	0,162785	2	0,0813924	95,76	0,0000
B: Ángulo	0,0637666	2	0,0318833	37,51	0,0000
C: Intervalo	0,00502405	2	0,00251203	2,96	0,0691
<b>Interacciones</b>					
AB	0,0515938	4	0,0128985	15,17	0,0000
AC	0,00521597	4	0,00130399	1,53	0,2205
BC	0,00962392	4	0,00240598	2,83	0,0441
ABC	0,00700782	8	0,000875978	1,03	0,4379
Residuos	0,0229496	27			
<b>Total (Corregido)</b>	<b>0,327967</b>	<b>53</b>			

**Cuadro 2:** Análisis de varianza para porcentaje de material mediano.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>Efectos Principales</b>					
A: Especies	0,0858865	2	0,0429432	47,92	0,0000
B: Ángulo	0,144421	2	0,0722103	80,59	0,0000
C: Intervalo	0,00231597	2	0,00115799	1,29	0,2911
<b>Interacciones</b>					
AB	0,0437773	4	0,0109443	12,21	0,0000
AC	0,00775923	4	0,00193981	2,16	0,1001
BC	0,00480726	4	0,00120182	1,34	0,2803
ABC	0,0204594	8	0,00255742	2,85	0,0195
Residuos	0,0241937	27	0,000896063		
<b>Total (Corregido)</b>	<b>0,33362</b>	<b>53</b>			

**Cuadro 3:** Análisis de varianza para porcentaje de material fino.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
<b>Efectos Principales</b>					
A: Especies	0,48407	2	0,242035	231,16	0,0000
B: Ángulo	0,0169435	2	0,00847175	8,09	0,0018
C: Intervalo	0,0127951	2	0,00639756	6,11	0,0065
<b>Interacciones</b>					
AB	0,163961	4	0,0409903	39,15	0,0000
AC	0,00643141	4	0,00160785	1,54	0,2201
BC	0,0166294	4	0,00415736	3,97	0,0116
ABC	0,0179241	8	0,00224051	2,14	0,0667
Residuos	0,0282705	27	0,00104705		
<b>Total (Corregido)</b>	<b>0,747025</b>	<b>53</b>			

**Cuadro 4:** Análisis de componentes de la varianza para porcentaje de material fino.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Comp. de la varianza	Porcentaje
<b>Total (Corregido)</b>	<b>0,747025</b>	<b>53</b>			
A: Especies	0,48407	2	0,242035	0,0117713	64,27
B: Ángulo	0,180905	6	0,0301508	0,00452716	24,72
C: Intervalo	0,0537801	18	0,00298778	0,000970363	5,3
Error	0,0282705	27	0,00104705	0,00104705	5,72

## **ANEXO 2**

### **CUADRO DE RESULTADOS ANÁLISIS BIFACTORIAL.**

**Cuadro 1:** Análisis de varianza para porcentaje de material grueso.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos Principales					
A: Especies	0.163916	3	0,0546388	57,4	0,000
B: Ángulo	0.0569289	2	0,0284645	29,9	0,000
Interacciones					
AB	0.0935542	6	0,0155924	16,38	0,000
Residuos	0.0571098	60	0,00095183		
Total (Corregido)	0.371509	71			

**Cuadro 2:** Análisis de varianza para porcentaje de material mediano.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos Principales					
A: Especies	0.0875587	3	0,0291862	23,7	0,000
B: Ángulo	0.177063	2	0,0885315	71,89	0,000
Interacciones					
AB	0.0464021	6	0,00773368	6,28	0,000
Residuos	0.0738852	60	0,00123142		
Total (Corregido)	0.384909	71			

**Cuadro 3:** Análisis de varianza para porcentaje de material fino.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos Principales					
A: Especies	0.484122	3	0,161374	97,77	0,000
B: Ángulo	0.0620491	2	0,0310246	18,8	0,000
Interacciones					
AB	0.211615	6	0,0352692	21,37	0,000
RESIDUOS	0.0990308	60	0,00165051		
TOTAL (CORREGIDO)	0.856818	71			

## **ANEXO 3**

### **CUADRO DE RESULTADOS ANÁLISIS CONTRASTE MÚLTIPLES.**

**Cuadro 1:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material grueso para mezcla de especies.

Especie (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
E/N	18	0,0100778	0,00727183	X	
N	18	0,0721444	0,00727183		X
E/P	18	0,0901278	0,00727183		X
M1	18	0,143694	0,00727183		X
Contrastes			Diferencias de medias		
E/N - E/P			*-0,08005		
E/N - M1			*-0,133617		
E/N - N			*-0,620667		
E/P - M1			*-0,0535662		
E/P - N			0,0179834		
M1 - N			*0,715496		

(\*) Indica una diferencia significativa.

**Cuadro 2:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material grueso para ángulos de contra cuchillo.

Ángulo (°) (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
40/45	24	0,0463	0,00629759	X	
45/50	24	0,0757833	0,00629759		X
50/55	24	0,11495	0,00629759		X
Contrastes			Diferencias de media		
40/45 - 45/50			(*)-0,0294833		
40/45 - 50/55			(*)-0,06865		
45/50 - 50/55			(*)-0,0391667		

(\*) Indica una diferencia significativa

**Cuadro 3:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material mediano para mezcla de especies.

Especie (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
E/N	18	0,524878	0,00827117	X	
E/P	18	0,575233	0,00827117		X
N	18	0,58535	0,00827117		X
M1	18	0,62255	0,00827117		X
Contrastes			Diferencias de medias		
E/N - E/P			(*)-0,0503556		
E/N - M1			(*)-0,0976722		
E/N - N			(*)-0,0604722		
E/P - M1			(*)-0,0473167		
E/P - N			-0,0101167		
M1 - N			(*)0,0372		

(\*) Indica una diferencia significativa.

**Cuadro 4:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material mediano para ángulos de contra cuchillo.

Ángulo (°) (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
50/55	24	0,507225	0,00716304	X	
40/45	24	0,6058	0,00716304		X
45/50	24	0,617983	0,00716304		X
Contrastes (grupos)			Diferencias de medias		
40/45 - 45/50			0,0121833		
40/45 - 50/55			(*)0,098575		
45/50 - 50/55			(*)0,110758		

(\*) Indica una diferencia significativa

**Cuadro 5:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material fino para mezcla de especies.

Especie (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
M1	18	0,233767	0,00957576	X	
E/P	18	0,334639	0,00957576		X
N	18	0,342511	0,00957576		X
E/N	18	0,465056	0,00957576		X
Contrastes			Diferencias de medias		
E/N - E/P			(*)0,130417		
E/N - M1			(*)0,231289		
E/N - N			(*)0,122544		
E/P - M1			(*)0,100872		
E/P - N			-0,00787222		
M1 - N			(*)-0,108744		

(\*) Indica una diferencia significativa.

**Cuadro 6:** Contrastes múltiples de rango para porcentaje de material fino para ángulos de contra cuchillo.

Ángulo (°) (grupo)	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneo	
45/50	24	0,306242	0,00829285	X	
40/45	24	0,347908	0,00829285		X
50/55	24	0,377829	0,00829285		X
Contrastes			Diferencias de medias		
40/45 - 45/50			(*)0,0416667		
40/45 - 50/55			(*)-0,0299208		
45/50 - 50/55			(*)-0,0715875		

(\*) Indica una diferencia significativa.