

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**EFFECTO DEL PRESERVANTE CCB EN EL METODO DE  
FORMULACION DEL ADHESIVO PARA TABLEROS  
CONTRACHAPADOS DE *SAPOTE* (*MATISIA CORDATA*)**

Presentado por:

**Renato Enrique Galdos Vandervelde**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2015

## *DEDICATORIA*

*Dedicado a mi familia, la que me apoyo en todo este proceso de evolución, a mi facultad por brindarme una formación única, y sobre todo a nuestro país; el Perú es un imperio que habrá que redescubrir, lleno de recursos, como el gran Río Ucayali, el cual me dejó un mensaje, lo lograremos.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a los catedráticos Leonidas Miguel y Julio Canchucaja, los que me apoyaron con dedicación y pasión, para obtener un aporte a la ciencia forestal; a mis padres quienes lograron brindarme una educación de categoría, a la facultad de Ing, Forestal, donde producto de las vivencias me convertí en un ingeniero con espíritu.*

## *RESUMEN*

En el presente estudio, se analizó la influencia de un preservante de madera en el fraguado de la cola a base de urea formaldehído y en la resistencia física y mecánica de tableros contrachapados de la especie “sapote” (*Matisia cordata*), para lo cual se utilizaron tres formulaciones de cola con preservante CCB al 1, 2 y 3 por ciento, más un testigo sin preservante, evaluándose la viscosidad y la acidez de la formulación antes del prensado, así como la resistencia a la humedad y a la tracción paralela al grano en los tableros manufacturados. Los resultados del presente estudio indican que el uso del preservante hidrosoluble CCB a concentraciones de 1, 2 y 3 por ciento en la formulación de la cola, no altera su viscosidad y pH, asimismo, en cuanto a la resistencia a la humedad, el uso del preservante no manifiesta variación al 1 y 2 por ciento, excepto al tres por ciento donde disminuye significativamente. Finalmente, en los resultados de tracción paralela en los tableros producidos se encontró que al aumentar la concentración del preservante se incrementa su resistencia, siendo significativo al dos y tres por ciento. Sin embargo, estos valores son similares a los de otros estudios relacionados a la elaboración de tableros contrachapados.

**Palabras claves:** Adhesivo; CCB; Tableros contrachapados; Sapote; Preservante; Activación.

# ÍNDICE GENERAL

|  | Página    |
|--|-----------|
| <b>I. Introducción .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>II. Revisión de Literatura.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1. Características de las especies utilizadas en la fabricación de tableros<br/>    contrachapados.....</b> | <b>3</b>  |
| 1.1. Aptitud de las especies.....  | 3         |
| 1.2. Calidad.....  | 5         |
| <b>2. Descripción de la especie.....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1. Características de la especie.....  | 7         |
| <b>3. Activación de la madera.....</b>   | <b>9</b>  |
| 3.1. Cortes en el proceso de laminado.....   | 10        |
| 3.2. Temperatura en el proceso de laminado .....   | 10        |
| <b>4. Encolado.....</b>  | <b>11</b> |
| 4.1. Resina de ureaformaldehído.....   | 11        |
| 4.2. Formulación de la cola.....   | 13        |
| 4.3. Control de la calidad del adhesivo.....   | 14        |
| 4.3.1. Formulación.....  | 14        |
| 4.3.2. Control del pH y viscosidad del adhesivo.....   | 15        |
| 4.3.3. Valores de resistencia a la humedad y tracción paralela.....  | 17        |
| 4.4. Prensado del tablero.....   | 17        |
| 4.4.1. Adhesión .....  | 17        |
| 4.4.2. Extendido de la cola.....   | 19        |
| 4.4.3. Contenido de humedad de las láminas .....   | 20        |
| 4.4.4. Calidad de la superficie.....   | 20        |
| 4.4.5. Composición química de la madera .....  | 22        |
| 4.4.6. Acidez de la madera.....  | 22        |
| 4.4.7. Prensado .....  | 23        |
| <b>5. Reacciones del preservante .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>III. Materiales y Métodos.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>1. Lugar de ejecución.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>2. Materia prima.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>3. Materiales y equipos.....</b>  | <b>30</b> |
| 3.1. Materiales.....   | 30        |
| 3.2. Equipos e instrumentos .....  | 30        |
| <b>4. Métodos.....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1. Preparación de la cola.....   | 31        |
| 4.2. Control de calidad de la resina de ureaformaldehído.....  | 34        |
| 4.3. Control de calidad de la cola.....  | 34        |
| 4.3.1. Viscosidad.....   | 34        |
| 4.3.2. pH.....   | 35        |
| 4.4. Preparación de los tableros contrachapados.....   | 35        |
| 4.4.1. Características de las láminas.....   | 35        |
| 4.4.2. Número de tableros.....   | 35        |
| 4.4.3. Identificación de muestras .....  | 35        |
| 4.5. Aplicación de la cola.....  | 35        |
| 4.6. Prensado.....   | 35        |
| 4.7. Control de calidad de los tableros.....   | 36        |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.8.         | Diseño estadístico .....                     | 36        |
| <b>IV.</b>   | <b>Resultados y discusión.....</b>           | <b>38</b> |
| 1.           | Determinación de la acidez de la madera..... | 38        |
| 2.           | Control de calidad de la cola .....          | 38        |
| 2.1.         | Control de calidad de la resina.....         | 38        |
| 2.2.         | Control de calidad de la cola.....           | 38        |
| 3.           | Control de calidad de los tableros .....     | 41        |
| 3.1.         | Ensayo físico .....                          | 41        |
| 3.2.         | Ensayo mecánico .....                        | 43        |
| <b>V.</b>    | <b>Conclusiones.....</b>                     | <b>47</b> |
| <b>VI.</b>   | <b>Recomendaciones.....</b>                  | <b>49</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>Referencias bibliográficas.....</b>       | <b>51</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>Anexos.....</b>                           | <b>59</b> |

## Índice de tablas

|   | Página |
|---|--------|
| Tabla 1: Propiedades Físicas y mecánicas de las especies empleadas para tableros contrachapados en el Perú. ....                            | 4      |
| Tabla 2: Características de las especies maderables utilizadas en la fabricación de tableros contrachapados .....                           | 5      |
| Tabla 3: Estructura anatómica del Sapote vs. Lupuna .....   | 8      |
| Tabla 4: Propiedades Físicas y mecánicas de la especie Sapote ( <i>Matisia cordata</i> ) .....  | 9      |
| Tabla 5: Rangos de densidad básica de maderas como fuente de materia prima para elaborar tableros contrachapados. ....                      | 14     |
| Tabla 6: Composición según la elaboración resinas de Urea formaldehído por Tipo de Formulación .....  | 15     |
| Tabla 7: Características y valores de las propiedades de la cola de Urea Formaldehído ...   | 16     |
| Tabla 8: Presión específica aplicada a las láminas para tableros contrachapados según la densidad básica de la especie .....                | 26     |
| Tabla 9: Formulación de la sal hidrosoluble CCB .....   | 28     |
| Tabla 10: Proporción de los componentes activos establecidos para las sales CCB .....   | 29     |
| Tabla 11: Porcentaje de insumos por tratamientos con preservantes .....   | 33     |
| Tabla 12: Peso de la mezcla del adhesivo por tablero contrachapado elaborado .....  | 34     |
| Tabla 13: Valores promedio de los ensayos físicos de tableros preparados con y sin preservante en la línea de cola .....                    | 42     |
| Tabla 14: Valores promedio de los ensayos mecánicos en tableros preparados con y sin preservante en la línea de cola .....                  | 43     |
| Tabla 15: Análisis de variancia de los ensayos mecánicos de tableros preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola ..... | 45     |
| Tabla 16: Prueba de Duncan para tableros contrachapados preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola .....              | 46     |

## Índice de figuras

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 1: Encolado adecuado en buena penetración del adhesivo. ....  | 6      |
| Figura 2: Relación de variables (Hidrofilicidad vs Superficie en el tiempo),<br>disminución de la polaridad de la fibra al paso del tiempo en horas<br>(azul=pared celular, rojo=lumen). ....  | 11     |
| Figura 3: Sección transversal de madera mostrando puntos en la pared celular<br>disponibles de interacción con adhesivos. ....   | 18     |
| Figura 4: Gotas de agua muestran el mejor extendido de la superficie de la chapa por<br>remoción de contaminantes. La gota de la izquierda sobre una superficie sin<br>tratar, la del medio presenta dos pasadas de lija, y la gota de la derecha fue<br>lijada por cuatro pasadas. .... | 21     |
| Figura 5: Imágenes de escalas para el encolado. ....   | 25     |
| Figura 6: Probetas distribuidas por tablero. ....  | 37     |
| Figura 7: Variación de la viscosidad de la mezcla encolante en tableros<br>contrachapados de sapote a diferentes concentraciones de sales CCB, en<br>relación al testigo en el tiempo ....   | 39     |
| Figura 8: Variación del pH de la mezcla encolante en tableros contrachapados de<br>Sapote a diferentes concentraciones de sales CCB en relación al testigo en el<br>tiempo ....  | 40     |

## *Índice de anexos*

|   | Página |
|---|--------|
| Anexo 1 Viscosidad y ph para la formulación de la cola sin preservante .....  | 59     |
| Anexo 2 Viscosidad y pH de la formulación de la cola con 1% de preservante .....  | 60     |
| Anexo 3 Viscosidad y pH de la formuación de la cola con 2 % de preservante.....   | 61     |
| Anexo 4 Viscosidad y pH de la formulación de la cola con 3 % de preservante.....  | 62     |
| Anexo 5 ANVA del preservante sobre el pH en tableros contrachapados de sapote.....  | 63     |
| Anexo 6 ANVA del preservante sobre la viscosidad en tableros contrachapados de sapote ...                                 | 64     |
| Anexo 7 Valores de los ensayos físicos en tableros preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola ..... | 65     |
| Anexo 8 Prueba no parametrica kruskal – wallis sobre el ensayo físico para tableros contrachapados de sapote .....        | 66     |
| Anexo 9 Escala de calidad de ligaduras de acuerdo a la norma INDECOPI 251.042: 1979....                                   | 67     |
| Anexo 10 Prueba de Duncan para tableros preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola.....             | 68     |
| Anexo 11 Valores de la tracción paralela para tableros preparados sin preservante en la línea de cola.....                | 69     |
| Anexo 12 Valores de la tracción paralela para tableros preparados con preservante al 1 % en la linea de cola.....         | 70     |
| Anexo 13 Valores de la tracción paralela para tableros preparados con preservante al 2 % en la linea de cola.....         | 71     |
| Anexo 14 Valores de la tracción paralela para tableros preparados con preservante al 3 % en la linea de cola.....         | 72     |

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria de tableros contrachapados del país tiene como principales mercados de exportación a México y los Estados Unidos; sin embargo, el incremento de las ventas en los últimos años ha ido disminuyendo debido a factores económicos, al incremento de la oferta por parte de otros países que manufacturan este producto y a la progresiva escases de la principal materia prima, la especie "Lupuna" (*Chorisia insignis* H.B.K), que es la más utilizada y solicitada, dejando de lado a las especies, afectando con ello la regeneración del bosque y la posibilidad de obtener mayores beneficios económicos.

Las calidades de resistencia mecánica y durabilidad más importantes de los tableros contrachapados dependen en gran medida de las características y formulación del adhesivo utilizado, de la especie y del proceso de manufactura. Actualmente la mayoría de empresas triplayeras utilizan preservantes para incrementar su vida útil y hacerlos más resistentes al ataque biológico, por lo que realizan la preservación de los tableros utilizando diferentes productos y con distintos métodos, ya sea sumergiendo las láminas antes del encolado o incluyendo el preservante en la formulación de la cola, siendo posible que su uso ocasione algún efecto negativo durante el fraguado del adhesivo, provoque una mayor corrosión de las máquinas o una disminución en la resistencia física y mecánica del producto por la incompatibilidad de la cola con el preservante.

Respecto a las sales hidrosolubles CCB, a diferencia de otros preservantes existentes en el mercado, presentan componentes activos que combinan la acción fungicida del cobre con la acción insecticida del boro, y el poder de fijación del cromo para evitar la lixiviación; así mismo no resultan tóxicas al contacto con personas ni animales.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la inclusión del preservante hidrosoluble CCB, en diferentes concentraciones y tratamientos, en la formulación de la cola utilizada actualmente para la fabricación de tableros contrachapados de la especie "Sapote" (*Matisia cordata* Humb et Bonpl), evaluándose la viscosidad y el pH del adhesivo antes de su aplicación y su resistencia a la humedad y a la tracción paralela al grano.

Los resultados del presente trabajo de investigación contribuirán a validar el uso de preservantes CCB en la formulación de la cola, conociendo su efecto en la vida útil del adhesivo y las propiedades mecánicas del producto.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS CONTRACHAPADOS**

#### **1.1. APTITUD DE LAS ESPECIES**

Uno de los mayores obstáculos para el uso de especies forestales en la elaboración de tableros contrachapados es la aptitud de la madera, por lo que es necesario hacer una comparación de la especie “Sapote” (*Matisia cordata* Humb et Bonpl) con otras usadas comúnmente para la fabricación de este producto.

Mc Millin, citado por Julca (1987) manifiesta que la calidad de la superficie de una chapa está en función a los tipos de fallas de la madera y de sus propiedades mecánicas, siendo las más importantes la compresión perpendicular, tensión perpendicular y cizallamiento. Respecto a la anatomía de la madera, Zavala (1991) señala que la estructura de la madera (la relación albura - duramen y madera tardía - temprana), así como la densidad y la porosidad, son importantes en la fabricación de los tableros contrachapados.

Las propiedades anatómicas de las especies mayormente utilizadas para la elaboración de tableros contrachapados, como la “Lupuna” (*Chorisia insignis* H.B.K) y la “Catahua” (*Hura crepitans*), presentan similitudes con las características del “Sapote”. Asimismo, Ramírez (2012) menciona a la “Panguana” (*Brosimum utile* H.B.K. Pitt) como otra de las especies actualmente usadas en el país. Las propiedades físico- mecánicas de las especies arriba mencionadas se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1: Propiedades Físicas y mecánicas de las especies empleadas para tableros contrachapados en el Perú.**

| <i>Propiedades</i> |                          | <i>Especies empleadas</i> |                |                 | <i>Unidad</i>      |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|--------------------|
|                    |                          | <i>Lupuna</i>             | <i>Catahua</i> | <i>Panguana</i> |                    |
| Físicas            | Densidad básica          | 0,28                      | 0,43           | 0,47            | g/cm <sup>3</sup>  |
|                    | Contracción volumétrica  | 10,69                     | 9              | 9,48            | %                  |
|                    | Relación T/R             | 2,98                      | 1,78           | 1,71            | ....               |
| Mecánicas          | Compresión perpendicular | 26                        | 17             | 53              | kg/cm <sup>2</sup> |
|                    | Cizallamiento            | 52                        | 28             | 80              | kg/cm <sup>2</sup> |
|                    | Tensión perpendicular    | 33                        | 20             | 46              | kg/cm <sup>2</sup> |

*FUENTE: Aróstegui (1980-81 )*

En cuanto a los componentes químicos que presentan, La JUNAC (1984) indica que la madera está constituida por los siguientes elementos: Carbono 49 por ciento; Oxígeno 44 por ciento; Hidrógeno 6 por ciento; Nitrógeno y minerales 1 por ciento. También señala que la combinación de estos elementos conforman los componentes de la madera: Celulosa (40 – 60 por ciento); Hemicelulosa (5 - 35 por ciento); Lignina (15 - 35 por ciento).

Por otra parte, Zavala (1991) menciona que los polímeros celulósicos forman el componente principal de las paredes de las fibras, que equivalen al 65 – 75 por ciento de su peso, son altamente polares y generan superficies con alta energía, atrayéndose fuertemente entre sí y también con los adhesivos; la lignina representa entre 20 – 30 por ciento del peso de la madera, es un compuesto ligeramente polar, por lo que produce superficies con baja energía que son menos atrayentes a los pegamentos cuando la absorción es la forma principal de adherencia; y finalmente los extractivos, que equivalen del 0 – 10 por ciento del peso de la madera y pueden ser moléculas polares (taninos o azúcares), pero también se presentan otros extractivos no polares (oleorresinas y ácidos grasos). Cuando los extractivos no polares cubren la superficie de la chapa, la energía se reduce y con ello la atracción a los pegamentos y las características de adherencia de la madera.

**Tabla 2: Características de las especies maderables utilizadas en la fabricación de tableros contrachapados**

| <b>Características</b> | <b>Lupuna</b>                                       | <b>Catahua</b>             | <b>Panguana</b>      |
|------------------------|---|----------------------------|----------------------|
| <b>Grano</b>           | Recto   | Ligeramente entrecruzado   | Entrecruzado         |
| <b>Textura</b>         | Media a gruesa                                      | Gruesa                     | Gruesa               |
| <b>Relación T/R</b>    | Inestable   | Estable                    | Estable              |
| <b>Aptitud</b>         | Buen comportamiento al torneado, cepillado y lijado | Buena adherencia a la cola | Buena trabajabilidad |

FUENTE: Aróstegui, et al (1980-81)

Aróstegui, citado por Julca (1987), señala que el grano de la madera influye en su comportamiento a la trabajabilidad en máquinas de carpintería y en su resistencia mecánica. Forest Products Laboratory, citado por Dunky (2002), menciona que los adhesivos pueden penetrar más fácilmente a lo largo del grano que a través de éste. Otra complicación, según Rowell (2005), es que la estructura celular es diferente entre especies, por lo que el grado de penetrabilidad de los adhesivos también será diferente.

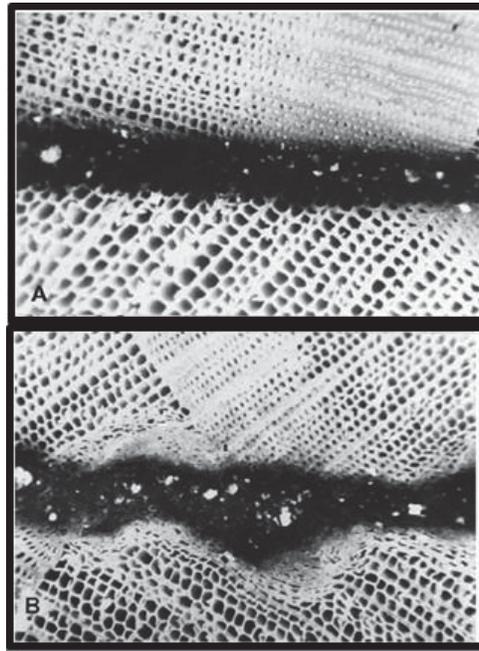
## **1.2. CALIDAD**

Para Demirkir *et al* (2013), los factores más importantes que afectan la resistencia al encolado de los tableros contrachapados son las características anatómicas y químicas de la madera utilizada, el tipo de adhesivo, temperatura de la troza al momento del debobinado, temperatura del secado de las láminas y su contenido de humedad.

Al respecto, Zavala y Hernández (2002) indican que el rendimiento de transformación de troza a triplay es de aproximadamente de 40 por ciento, pudiendo variar según la calidad de la madera la tecnología de procesamiento usada.

Respecto a la calidad de las laminas utilizadas para la fabricación del triplay, Zavala (1991) sostiene que bajo condiciones deficientes de los equipos utilizados en el laminado (torno y rebanadora), o por falta de un acondicionamiento adecuado de las trozas antes de su

procesamiento, se genera una chapa con textura áspera, grietas profundas y fibras rasgadas. Asimismo, señala que una superficie con estas características requiere una mayor cantidad de adhesivo para cubrir dichas irregularidades, lo cual puede considerarse como un desperdicio (Figura 1).



**Figura 1:** Encolado adecuado en buena penetración del adhesivo.

*FUENTE: Rowel, 2005.*

Dónde:

A: En una superficie sólida, un buen encolado.

B: Mal encolado para una superficie dañada.

Zavala (1991), menciona que el exceso de humedad en la chapa de madera ocasiona distintos problemas en la integración del tablero, además de inhibir la polimerización de los adhesivos que requieren calor, produciendo un exceso de vapor durante el prensado, incrementando los esfuerzos en la línea de pegamento del tablero tendiendo a separar las láminas. Asimismo, para el proceso de secado, el mismo autor manifiesta que la mayoría de especies tolera de uno a dos minutos temperaturas de hasta 204,4 °C (400 °F) sin que sufra inactivación de la superficie.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

Según Aróstegui (1974), la especie en estudio tiene las siguientes características:

- Nombre común : Sapote, Zapote, Sapote de monte, Sapotillo.
- Nombre científico : *Matisia cordata Humb et Bonpl.*
- Sinónimos : *Quaribea cordata(Humb et Bonpl) Visher*
- Familia : Bombacaceae

En un estudio efectuado por Kroll (1987) en la zona de Dantas, lo define como un árbol de 50 m de altura total, 35 m de altura comercial promedio y un d.a.p. de 0,95 m; presenta un fuste recto, cilíndrico, raíces tablares aplanadas y desarrolladas; la corteza externa es lisa y ritidoma leñoso, desprendiéndose en placas en forma irregular; la corteza interna es rojiza hacia el exterior y cremosa hacia el interior, de textura heterogénea, laminar junto a la albura y fibroso-arenoso hacia el exterior.

Según Aróstegui (1974), la madera es de color blanco amarillento, brillo medio, grano recto, textura media, vetado jaspeado y olor ausente o distintivo; es de fácil aserrío, buena trabajabilidad, presenta una resistencia mecánica baja, buen comportamiento al cepillado, torneado, moldurado y taladrado; el secado natural es rápido, al igual que el secado artificial con un programa moderado.

Al respecto, Miguel y Canchucaja (2003), indican que el “Sapote” es una madera clara de un color amarillo-crema y su mayor valor de blancura en sentido radial puede deberse a los extractivos incoloros; presenta buena estabilidad dimensional, así mismo se pueden obtener láminas por corte rotativo y plano, siendo los últimos más homogéneos y recomendados para caras, centros e intermedios de acuerdo a su calidad.

Respecto a la durabilidad natural, La JUNAC (1988) manifiesta que el “Sapote” presenta una categoría de N.R (No resistente) y de tratabilidad I (Muy fáciles de tratar). Asimismo, indica que la albura y duramen tratados por presión o inmersión, obtienen retenciones de más de 200 kg/m<sup>3</sup> y una penetración total.

En los estudios realizados de la madera de Sapote, Aróstegui (1980-81), indica que presenta densidad básica media, grano recto, poros múltiples radiales y semicirculares. En la Tabla 3, se comparan las características anatómicas de la madera “Sapote” con la “Lupuna”, principal especie utilizada para la fabricación de triplay.

**Tabla 3: Estructura anatómica del Sapote vs. Lupuna**

| <i>Estructura anatómica</i>             | <i>Sapote</i>                        | <i>Calificación</i> | <i>Lupuna</i>                              | <i>Calificación</i> |
|---|--------------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| <i>Largo de fibra (u)</i>               | 2362                                 | Largo               | 2209                                       | Largo               |
| <i>Diámetro tangencial de poros (u)</i> | 191                                  | Grande              | 222  | Muy Grande          |
| <i>Longitud de vasos (u)</i>            | 867                                  | Largo               | 412  | Corto               |
| <i>Longitud de radio (u)</i>            | 2115                                 | Muy largo           | 1165                                       | Mediano             |
| <i>Defectos de cepillado</i>            | 1,66                                 | Bueno               | 1,23                                       | Excelente           |
| <i>Cristales</i>                        | Abundantes                           |                     | Escasos                                    |                     |
| <i>Fibra</i>                            | Fusiforme                            |                     | Ventriforme                                |                     |
| <i>Células Radiales</i>                 | Procumbente y erecta en los extremos |                     | Procumbente (50% del radio) y erecta (50%) |                     |

FUENTE: Aróstegui 1980-81.

Gonzales<sup>1</sup> (2014) resalta en el “Sapote” la presencia abundante de cristales, lo que le puede dar un carácter hidrofóbico a la madera, fibras fusiformes que tienen pared gruesa y lumen estrecho. Asimismo, la madera presenta radios delgados, mientras que la “Lupuna” tiene radios más cortos y gruesos, además presenta pared delgada y lumen grueso. Por su parte, Aróstegui (1980-81) manifiesta que a distintos ángulos de bisel de las cuchillas para el cepillado, el “Sapote” presenta mayor cantidad de defectos en promedio, respecto al grano arrancado, astillado, levantado y vellosidad, además de diferencias respecto a las propiedades físicas y mecánicas (Ver Tabla 4).

<sup>1</sup>Gonzales, E. 2014. Anatomía de la madera de Sapote vs Lupuna (entrevista) Lima, PE. UNALM

**Tabla 4: Propiedades Físicas y mecánicas de la especie Sapote (*Matisia cordata*)**

| <b>Propiedades</b> |                          | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b>      |
|--------------------|--------------------------|--------------|--------------------|
| <b>Físicas</b>     | Densidad básica          | 0,43         | g/cm <sup>3</sup>  |
|                    | Contracción volumétrica  | 11,97        | %                  |
|                    | Relación T/R             | 2,47         | ....               |
| <b>Mecánicas</b>   | Compresión perpendicular | 40           | kg/cm <sup>2</sup> |
|                    | Cizallamiento            | 55           | kg/cm <sup>2</sup> |
|                    | Tensión perpendicular    | 34           | kg/cm <sup>2</sup> |

FUENTE: Aróstegui (1980-81 )

Respecto a su composición química, Rengifo (1990) indica que sus paredes celulares contienen 49,5 por ciento de celulosa, 34,2 por ciento de lignina y 2,9 por ciento de extractivos, definiendo a la especie con alto contenido de celulosa y lignina y bajo contenido de extractivos.

### 3. ACTIVACIÓN DE LA MADERA

Demirkir *et al* (2013), señala que la resistencia al encolado del triplay mejora y varía dependiendo de la temperatura de la troza al momento del laminado y durante el secado, hallando diferencias entre las especies y los adhesivos empleados.

Aydin (2004) indica que las propiedades de las láminas de madera no son diferentes a las de otros productos, por lo que, en la manufactura de tableros contrachapados que incluye el corte, secado y el laminado, las propiedades físicas y químicas de la superficie de las chapas pueden cambiar drásticamente.

Chattopadyay (2014) menciona que el extendido y la fuerza superficial son de crítica importancia para la adhesión de la cola sobre un sustrato, y los aspectos del adhesivo más importantes a considerar, en términos de estructura molecular, son las cadenas largas y la presencia de ramificaciones, grupos polares y la viscosidad.

### **3.1. CORTES EN EL PROCESO DE LAMINADO**

Aydin (2004) sostiene que la inactivación de la superficie de la madera es un fenómeno que resulta en la pérdida de la capacidad para el encolado. Sin embargo, Gupta y Bits, citados por Aydin *et al* (2005), manifiestan que las láminas obtenidas de trozas calentadas a una temperatura óptima previo al corte, producen tableros contrachapados de mayor resistencia a la tracción en diferentes especies.

Frybort *et al* (2014), señala que la pared celular muestra una alta disminución en la fuerza de adhesión durante las primeras 24 horas luego del corte. Asimismo, indica que la adhesión en la interfase es significativamente mayor, siendo la fuerza de enlace entre la ureaformaldehído fraguada con la pared celular recién cortada (más polar e hidrofílica) un 60 por ciento mayor que sobre la unión con el lumen.

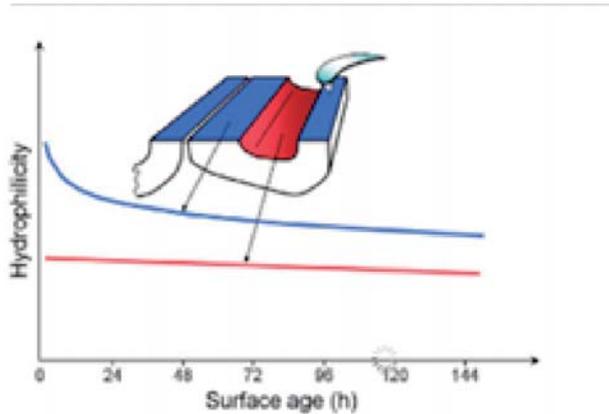
Según Mays, Citado por Custodio *et al* (2008), la madera recién cortada al ser expuesta a la atmosfera presenta una alta cantidad de sitios de unión para el encolado, los que serán ocupados por gases y contaminantes, dejando menos puntos para el adhesivo, inactivando la superficie y dificultando el extendido.

### **3.2. TEMPERATURA EN EL PROCESO DE LAMINADO**

Custodio *et al* (2008) manifiesta que la inactivación se incrementa cuando la madera es sobre calentada o sobre secada, siendo que el calor aumenta la movilidad de los extractivos y la chance emigrar a la superficie ocupando sitios libres, alterando los componentes de la madera eliminando sitios de enlace. Al respecto, Aydin (2004), afirma que los contaminantes no solo interfieren en el extendido y la adhesión, sino también en el desarrollo del curado, afectando la fuerza cohesiva de la línea de cola.

Carpenter, citado por Aydin (2004), indica que el rango de inactivación depende de la especie, y de la temperatura a la que es expuesta la madera en la manufactura o durante el periodo de almacenamiento. Sobre este aspecto, Aydin *et al* (2005) señala que investigaciones en Canadá, muestran que las trozas calentadas a temperaturas de 32 a 38°C, presentan una mejor calidad que las usadas por las industrias (55 °C).

Por otra parte Carpenter, citado por Aydin (2004), sostiene que en altas temperaturas, la superficie cambia con el tiempo, generando oxidación en la superficie, la modificación del ratio celulosa/lignina y la acidificación de esta (Figura 2). Además, Aydin (2004) indica que los extractivos en la superficie de la madera perjudican el curado de la ureaformaldehído.



**Figura 2: Relación de variables (Hidrofiliicidad vs Superficie en el tiempo), disminución de la polaridad de la fibra al paso del tiempo en horas (azul=pared celular, rojo=lumen).**

*FUENTE: Aydin, 2004.*

Sobre la inactivación por altas temperaturas, Zavala (1991) señala que la condensación de los grupos hidroxilos forman uniones menos polares tipo eter, por lo tanto, para las últimas etapas del proceso de secado, se recomienda un contenido de humedad menor a 20 por ciento y temperaturas de hasta 149 °C (300 °F), evitando así el problema de inactivación de la superficie. Christiansen, citado por Demirkir (2013) sostiene que altas temperaturas de secado afectan la resistencia al encolado en tableros contrachapados.

## **4. ENCOLADO**

### **4.1. RESINA DE UREA FORMALDEHIDO**

En la industria nacional el adhesivo comúnmente utilizado en la fabricación de tableros contrachapados es la UREA FORMALDEHIDO, elaborado a base de una resina de policondensación del formaldehído y la urea (Carbo di amida). Según la Industria Química Vencedor (1989) dicha resina es conocida en el mercado comercialmente como VENCE UF - 604 y es hidrosoluble.

Singh *et al* (2014) sostiene que las reacciones producidas en la resina son de metilación y de condensación, la primera consiste en adicionar por lo menos tres moléculas del bifuncional formaldehido a una de urea, conformando los mono, di, tri- metilolurea en condición alcalina. Asimismo, la condensación se manifiesta en bajas temperaturas y la débil acidificación del pH, favoreciendo la formación del dimetileno de enlace éter (-CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>-

), durante todo el proceso cada metilación genera constantes diferentes, siendo la reversibilidad de esta reacción responsable por la baja resistencia al agua y emisiones de formaldehído, y la condensación es una reacción ácida que libera agua y produce derivados urónicos.

Park y Jeong (2011) manifiestan que una reducida relación molar F/U en la resina curada, resiste más a la hidrólisis porque presenta una estructura más lineal y menos expuesta, generando más estabilidad a la humedad que con los niveles más altos de formaldehído, en cuya estructura presenta mayor cantidad de ramificaciones y gran cantidad de grupos metilol (-OH) hidrolizables.

Park y Jeong (2011) señalan que el cloruro de amonio incrementa la extensión de la región cristalina en función a su concentración y a la temperatura durante el fraguado, a diferencia de otros catalizadores. Ferra *et al* (2010) concluye que una baja relación de molaridad F/U de la resina de un proceso alcalino-ácido presenta menor resistencia mecánica.



Singh *et al* (2014) anota que la cantidad de los grupos metilol decrecen mientras los enlaces metileno aumentan conforme avanza el grado de curado de la resina, debido a que una gran cantidad de ácido es producido por el catalizador, lo cual acelera su endurecimiento.

Al respecto, Park y Jeong (2011) manifiestan que una baja relación de molaridad de Formaldehído/Urea en la resina, incrementa el tiempo de gelación, reduciendo la reactividad. Al respecto, Costa *et al* (2011) indica que la baja relación de molaridad es signo de la disminución del formaldehído libre disponible, que es de utilidad para reaccionar con el catalizador y así generar acidez.

Según Park y Causin (2012), a medida que decrece la relación F/U (1,6 a 1,0), el tamaño de la región cristalina aumenta de 1,3 a 5 nm, dejando menos espacios libres en la cola fraguada.

## 4.2. FORMULACIÓN DE LA COLA

Marra, citado por Custodio *et al* (2008) explica el comportamiento de las fuerzas intermoleculares presentes, cuando el adhesivo se aproxima a las células de la madera:

- Las fuerzas de Van der Waals, proveen una energía de enlace de 20 Kj/mol, que es baja comparada con enlaces químicos; sin embargo, permite un buen encolado entre los puntos polares de la superficie de la madera y del adhesivo como en el caso de la Ureaformaldehido, entre otros.
- Puentes de hidrogeno, se forman por acción de los grupos hidroxilo (-OH) contenidos tanto en las moléculas de celulosa de la madera como los presentes en el adhesivo (como el caso de la Ureaformaldehido, entre otros), lo cual permite construir enlaces de hidrogeno entre los átomos de hidrogeno y el nucleofilo átomo de oxígeno, ambos de carácter receptor de protones, y cuya energía de enlace no excede los 60 Kj/mol.
- También hay enlaces químicos más fuertes que ocurren con una reacción química entre la celulosa y las moléculas adhesivas como el poliuretano, epoxi e isocinatos, son enlaces covalentes que pueden tener una fuerza de 100 – 1200 Kj/mol.

Sanz *et al* (2006) indica que las fuerzas intermoleculares de Van der Walls y puentes de hidrogeno se manifiestan cuando las moléculas están lo suficientemente próximas y tienen mucho que ver con la adherencia, que condiciona los fenómenos del fraguado de la cola.

Respecto a la humedad, Custodio *et al* (2008) manifiesta que hay un número de mecanismos por el cual el agua puede entrar en la unión encolada, tales como: a) difusión a través del adhesivo desde los extremos expuestos b) transportarse a lo largo de la interface del adhesivo/adherente c) migración vía acción capilar a lo largo de las grietas y roturas en el adhesivo y d) difusión a través del adherente por su permeabilidad.

Por otro lado, Kamdem, citado por Shukla y kamdem (2012) manifiesta que los tratamientos en la línea de cola, consisten en incorporar preservantes de madera en la mezcla como una manera estratégica de incluirlos en los productos para evitar realizarlo posteriormente.

Según Miguel y Canchucaja (2013), en la zona de Pucallpa la industria J & F Industrial y Comercial E.I.R.L de triplay emplea preservante en la formulación de la línea de cola para tableros contrachapados, de 1 ó 1,33 por ciento en función a la resina usada. Asimismo,

señalan que la empresa Triplayera Martin Lumber S.A.C emplea 2,4 por ciento de preservante en la mezcla encolante y un gramaje o extendido variable.

De otro modo, Shukla y kamdem (2012) mencionan que uno de los problemas potenciales de incorporar preservantes en los productos compuestos de madera es la potencial interferencia con el proceso de encolado, generando modificaciones en los resultados deseados en cuanto al comportamiento físico y mecánico de los productos terminados.

### **4.3. CONTROL DE LA CALIDAD DEL ADHESIVO**

#### **4.3.1. FORMULACIÓN**

La Industria Química Vencedor (1989), principal proveedor de la resina de urea formaldehído en el país, recomienda utilizar formulaciones de acuerdo a la densidad básica de la madera para la elaboración de tableros, y cuya clasificación por rangos de densidad básica se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5: Rangos de densidad básica de maderas como fuente de materia prima para elaborar tableros contrachapados.**

| <i>Tipo de densidad básica</i> | <i>Valores (g/cm<sup>3</sup>)</i> |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Baja</i>                    | ≤0,40                             |
| <i>Media</i>                   | 0,41 - 0,60                       |
| <i>Alta</i>                    | >0,60                             |

*FUENTE: Industria Química Vencedor. 1989*

Asimismo, las formulaciones referenciales para tableros de 4 a 7 mm. de espesor por tipo de formulación son presentadas en la Tabla 6.

**Tabla 6: Composición según la elaboración resinas de Urea formaldehído por Tipo de Formulación**

| <b>Composición</b>     | <b>Tipo de Formulación</b> |                        |                        |
|------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
|                        | <b>Tipo 1<br/>(kg)</b>     | <b>Tipo 2<br/>(kg)</b> | <b>Tipo 3<br/>(kg)</b> |
| <b>UF- 604</b>         | 60                         | 62,5                   | 72                     |
| <b>Harina de trigo</b> | 55                         | 46                     | 40                     |
| <b>Agua</b>            | 50                         | 48-53                  | 33-38                  |
| <b>Catalizador</b>     | 1-1,5                      | 1-1,5                  | 1-1,5                  |

*FUENTE: Industria Química Vencedor. 1989*

Al respecto, Vignote y Martínez (2006), definen a la urea formaldehído como una cola termoendurecible de tiempo de vida limitado (4 horas aproximadamente), y para el fraguado se aplican temperaturas de 90 a 140 °C, obteniéndose una unión resistente a esfuerzos mecánicos y de mediana resistencia a la humedad, por lo cual el producto se usa para interiores.

Sernek y Dunky (2010) señalan que el estado de gelación corresponde a la transición del líquido a una textura gomosa, lo que retarda el fluido a nivel macroscópico, formando de una red infinita de polímeros entrelazados y moléculas macroscópicas, alcanzando un estado de viscosidad en este punto hasta lograr el cambio en el curado.

#### **4.3.2. CONTROL DEL PH Y VISCOSIDAD DEL ADHESIVO**

Según el fabricante de la urea formaldehído VENCE UF – 604, ésta es hidrosoluble y contiene las características indicadas en la Tabla 7.

**Tabla 7: Características y valores de las propiedades de la cola de Urea Formaldehido**

| <b>Características</b>             | <b>Valores</b> |
|------------------------------------|----------------|
| <b>GE 25/25°C</b>                  | 1200 – 1210    |
| <b>Viscosidad Gardner a 25 °C*</b> | B - C*         |
| <b>Tiempo de Gelación a 25 °C</b>  | 2,5 - 5 horas  |
| <b>pH a 25 °C</b>                  | 7,5 - 7,9      |
| <b>Contenido de sólidos (%)</b>    | 49 – 51        |

FUENTE: *Industria Química Vencedor. 1989*

\* *Viscosidad inicial; es la viscosidad que se incrementa con el tiempo y condiciones de almacenamiento a 25 °C como temperatura de almacenamiento, la viscosidad debe subir al rango I - J (225 - 250 cp) después de tres meses de almacenamiento.*

El mismo autor indica que antes de aplicar la cola es conveniente controlar los parámetros referentes a la viscosidad y pH de la mezcla. Por otra parte, Goodman y Dodiuk (2014) señalan que un bajo nivel de condensación (bajo peso molecular de la resina) hace demasiado fluida la mezcla y podría drenarse bajo presión, debilitando la línea de cola; esto puede ser corregido disminuyendo el pH por adición de una sustancia ácida o un agente endurecedor. Si la resina se encuentra muy condensada (alto peso molecular) el flujo será muy bajo como para un buen encolado bajo presión y temperatura normal, esto se corrige añadiendo un agente de fluido.

Kubota y Saito (1974) anotan que la viscosidad de la mezcla encolante apropiada para la aplicación debe ser de 180 a 250 cp (Fuerza de un eje rotatorio en el líquido adhesivo). Stamm (1961) recomienda determinar el pH de la solución adhesiva, ya que es un parámetro importante para lograr el curado del adhesivo; por esta razón una variación en la acidez (pH bajo) puede alterar la viscosidad, vida de almacenamiento, vida útil de trabajo y curado; además puede causar corrosión de máquinas y metales adherentes, y cuando es muy bajo (2 o menos) puede causar deterioro del sustrato madera.

Para Dunky *et al* (2002), el curado sucede en la línea de cola, la condición ácida se puede regular adicionando endurecedores o directamente sustancias que se disocian en agua.

De otro modo, Aydin *et al* (2005) compara el ángulo de contacto en la superficie de una lámina para la elaboración de tableros contrachapados, donde la cola a base de

Ureaformaldehído (55 por ciento de sólidos), cloruro de amonio, y harina de trigo como extendedor obtiene un mayor ángulo conforme la superficie se hace más lisa, tomando como parámetro importante la viscosidad de la cola, llegando a un punto óptimo, incrementando la resistencia mecánica en los tableros contrachapados.

#### **4.3.3. VALORES DE RESISTENCIA A LA HUMEDAD Y TRACCIÓN PARALELA**

En trabajos previos, Ttito (2007) al evaluar la aptitud de la yuca como extendedor para tableros contrachapados, obtiene resultados de resistencia a la tracción paralela de 15,05 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a la humedad de 6, Santos (2007) al evaluar la harina de Pituca como extendedor en la formulación de la cola, emplea la formulación estándar para el testigo cuya resistencia a la tracción fue de 15,39 kg/cm<sup>2</sup> y para la prueba de humedad un 6, Canchucaja (2002) al evaluar la Influencia de la presión específica en el prensado de tableros contrachapados de Lupuna (*Chorisia integrifolia*) obtuvo valores de 14,1 kg/cm<sup>2</sup> y una calificación de 6, así también Córdova (1992) obtiene valores de 10,6 kg/cm<sup>2</sup> y la calificación para la resistencia a la humedad de 4.

#### **4.4. PRENSADO DEL TABLERO**

##### **4.4.1. ADHESIÓN**

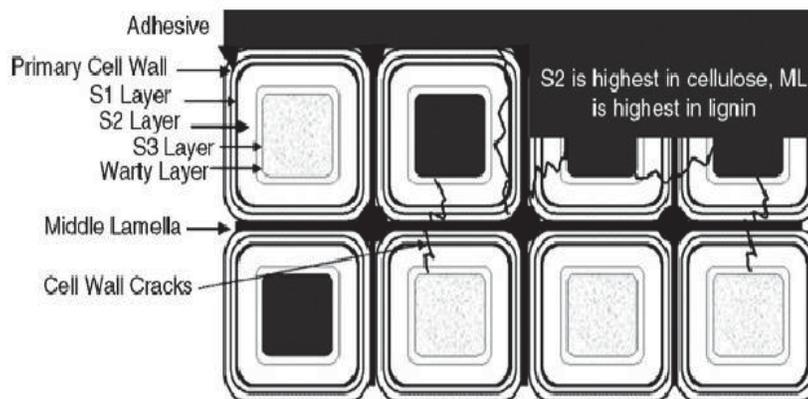
Vignote y Martínez (2006) definen a la adhesión como la fuerza de unión entre el sustrato y el adhesivo, que depende del contacto intermolecular de ambos materiales y el grado de mojado ó extendido; asimismo, los adhesivos deberán tener una tensión superficial igual o inferior a la energía superficial del sustrato, como única forma de conseguir un mojado total de la superficie. Según Kollman (1975) es igual a la fuerza de cohesión, la primera es el poder adhesivo de moléculas adyacentes si se encuentran suficientemente cerca.

Por otro lado Heritage (1983) anota que las uniones químicas son el establecimiento directo de enlaces entre moléculas del adhesivo y del sustrato por los enlaces covalentes o iónicos, donde las uniones físicas pueden resultar de:

- Mecanismo interbloqueante, cuando el adhesivo se endurece en una superficie rugosa, es decir la cola líquida penetra en los poros de la madera por acción de las fuerzas capilares y se endurece, generando una fuerte resistencia aunque los enlaces específicos sean pocos.

- Teoría de interdifusión, que indica que cuando un líquido adhesivo es aplicado sobre un sustrato, presenta moléculas que tienen relativamente un alto grado de movilidad pudiendo disolverse y dispersarse, dicha fuerza depende de la penetrabilidad del sustrato y la afinidad entre las moléculas de ambos materiales.
- Absorción y reacción superficial, es el proceso por el cual una molécula adhesiva es atraída a un sitio específico sobre una superficie sólida, la polaridad entre moléculas genera una gran atracción, donde las moléculas del adhesivo y del sustrato pueden tener una característica química específica que permite adhesión entre ellas.

Al respecto, Vignote y Martínez (2006) mencionan que el encolado de la madera se basa en dos tipos de uniones, la mecánica y la específica, donde en el primer tipo de unión la cola se introduce en los poros superficiales de las maderas a unir, luego por fraguado se convierte en un sólido de gran cohesión anclando fuertemente en ambas piezas y quedando perfectamente unidas, la calidad depende de la rugosidad de la superficie de la madera, del número de poros que se encuentren abiertos (limpios) y de lo que profundice la cola (permeabilidad de la madera). El segundo tipo de unión resulta de la atracción química entre los grupos activos de naturaleza polar de la madera y los grupos activos polares de la cola (Ver figura 3).



**Figura 3: Sección transversal de madera mostrando puntos en la pared celular disponibles de interacción con adhesivos.**

*FUENTE: Rowell, 2005.*

Sanchez *et al* (2012) menciona que al aumentar la temperatura del curado, es posible la aceleración del proceso, pero la limitación es una formación de espacios vacíos en el sistema

adhesivo, lo cual reduce la calidad de la unión y la resistencia mecánica, asimismo, este incremento de porosidad se da por la evaporación de partículas de la cola.

#### **4.4.2. EXTENDIDO DE LA COLA**

Heritage (1983) menciona que el objetivo básico del esparcido de la cola, es aplicar una cantidad controlada y uniforme sobre las superficies de las láminas; en tableros contrachapados se aplica mediante encoladores mecánicos de alta presión, principalmente encoladores de rodillos.

Marra, citado por Custodio *et al* (2008), divide al extendido en dos partes fundamentales: formación del encolado y su comportamiento; la formación se relaciona a las propiedades requeridas del fluido adhesivo para lograr el contacto necesario para adherirse y su endurecimiento; sobre el comportamiento, envuelve las propiedades del adhesivo como sólido en reacción ante el estrés, a los agentes degradantes como calor y la humedad.

Según French (1977), se requieren cambios precisos en la cantidad de cola extendida, incluso de hasta  $430 \text{ g/m}^2$  de doble línea de cola con el objeto de acoplarse a los requerimientos de los diferentes espesores de chapas. El mismo autor señala que el esparcido de la cola debe ser uniforme para toda la longitud del rodillo, el cual puede medir de 1,35 a 2,54 m.

En cuanto al extendido de la cola, Wellons (1988) señala que para superar los problemas derivados del encolado a un alto contenido de humedad, que varía entre 10 a 25 por ciento, se debe considerar cuatro factores:

- Mezcla encolante con alto contenido de sólidos
- Modificaciones de la resina
- Sistemas óptimos de cargas/extendedores
- Catalizador, adhesivo, preservante de dos compuestos

Respecto al gramaje, Basf peruana (1981) recomienda aplicar una cantidad de 120 – 180  $\text{g/m}^2$ ; un encolado satisfactorio producirá un tablero contrachapado con una unión adhesiva perfecta. Vignote y Martínez (2006) indican que el gramaje aplicable a estas colas varía entre 120 a 150  $\text{g/m}^2$ .

#### **4.4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS LÁMINAS**

French (1977) indica que las chapas a encolar con resinas de urea deben ser normalmente secadas a un Contenido de humedad de 6 a 8 por ciento, y para el encolado de chapas decorativas normalmente se requiere de 8 a 10 por ciento. También manifiesta que si la madera está manchada con grasas, ceras, barnices y lacas el encolado no es satisfactorio, la resina natural ya sea que seque sobre la madera o dentro de ella, muestra el mismo efecto dificultando el contacto de las fibras por el adhesivo de manera que no se puede lograr un encolado satisfactorio.

Al respecto, Heritage (1983) menciona que las láminas deben poseer algunas cualidades deseables tales como un espesor uniforme, una superficie aceptablemente lisa, que el contenido de humedad de las láminas y la temperatura se encuentren en rangos aceptables (lo cual varía dependiendo del proceso y del tipo de adhesivo utilizado). Además, Zavala (1991) manifiesta que para controlar el exceso de humedad y el incremento de vapor en la reducción del curado, se requiere aumentar el tiempo de prensado hasta mitigar el estrés interno, antes de abrir la prensa la resistencia de adherencia del pegamento debe ser mayor, ya que la salida de vapor del tablero manifestará explosiones y rasgado de las chapas del tablero contrachapado. Así también el mismo autor indica que el contenido de humedad más adecuado para la chapa varía entre 3 y 7 por ciento.

#### **4.4.4. CALIDAD DE LA SUPERFICIE**

Heritage (1983) sostiene que las superficies de las maderas están caracterizadas por sus texturas y los componentes químicos que se encuentran, describiendo dos propiedades superficiales:

- Textura superficial, es rugosa a causa de las características anatómicas de las fibras de la madera, algunas paredes celulares pueden ser cortadas exponiendo los lúmenes, cuyo ancho mide 10 um para una superficie lisa, hasta 200 um en rugosas. La textura superficial varía considerablemente entre especies, y en el proceso de corte que genera la exposición de las paredes de las fibras.
- La composición química de la madera es heterogénea, donde las hebras de los polisacáridos se incrustan en la lignina, exponiéndose en la mayor parte de las fibras rotas y la concentración varía según la ubicación del corte; sin embargo, en la lámina

media expondrá lignina y en el lumen aparecen los subproductos del metabolismo y los residuos del protoplasma, también los extractivos conforman una capa superficial.



**Figura 4:** Gotas de agua muestran el mejor extendido de la superficie de la chapa por remoción de contaminantes. La gota de la izquierda sobre una superficie sin tratar, la del medio presenta dos pasadas de lija, y la gota de la derecha fue lijada por cuatro pasadas. .

*FUENTE: Rowel, 2005.*

Según Aydin *et al* (2005) señala que la rugosidad de la superficie de la lámina se define en función de la especie, grosor de los anillos de crecimiento, densidad de la madera, relación de madera temprana con tardía, y adicionalmente la temperatura de la troza y las condiciones de su almacenamiento.

Por otro lado, Maloney (1977) afirma que los extractivos no son solo parte de la estructura de la madera sino que incluyen tanino polifenoles, materiales colorantes, aceites esenciales grasos, resinas, gomas y almidones. Hancock, mencionado, por Córdova (1992), sostiene que el debobinado de trozas para tableros contrachapados genera superficies casi totalmente cortadas o rasgadas que pueden manifestar irregularidades en el espesor de las láminas obtenidas.

Al respecto, Lutz (1974) considera que un desalineamiento entre la cuchilla y la barra de presión puede producir laminas con espesores diferentes y la aspereza puede deberse a la orientación de la estructura de la madera en su crecimiento; cuando se corta contra el grano por encima de la cuchilla la madera tiende a rajarse, algunas de estas irregularidades y otras

hacen que se incremente la cantidad de adhesivo a utilizarse, oponiéndose a un buen encolado.

#### **4.4.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA**

Según Heritage (1983), los extractivos pueden deteriorar la unión adhesiva cuando se presentan en cantidades excesivas, en algunas especies llegan a rangos tan altos como 10 hasta 30 por ciento, y diluyen tanto el sistema adhesivo que pueden reducir la fuerza de resistencia cohesiva en el curado de la cola. Asimismo, el bajo contenido de extractivos si se concentran en la superficie dificultan la unión, por ejemplo, cuando estos son solubles como los azúcares y son dejados en la superficie al ser evaporados durante el secado; algunos adhesivos funcionan con una cantidad limitada de extractivos que se disuelven y se dispersan dentro del sistema adhesivo, sin embargo, algunos extractivos no polares como los terpenos son menos solubles en adhesivos acuosos especialmente los ácidos, pueden actuar como barreras e impedir la penetración y esparcido óptimo de la cola.

Vignote y Martínez (2006) sostienen que la madera debe estar limpia de sustancias que se interpongan entre la madera y la cola, donde las resinas, grasas, aceites o taninos que pueda contener la madera dificulten la adhesión.

#### **4.4.6. ACIDEZ DE LA MADERA**

Al respecto, Heritage (1983) precisa que la acidificación es medida por el pH, la albura contiene pocos extractivos y la acidez está entre 5 y 6 para casi todas las especies; algunos extractivos en latifoliadas, especialmente los taninos, pueden producir maderas muy ácidas, con pH de 3 a 4, como ocurre con el Roble europeo (*Quercus* sp), además un tratamiento de remoción de extractivos mejora e incrementa el pH de la madera acercándola a neutro.

Albin (1975) manifiesta que el pH de la madera es una característica que tiene influencia en varios campos como la fijación de preservantes químicos, en la fijación de lacas, el fraguado de colas y adhesivos sea en madera sólida o en chapas.

Boonstra y Pizzi, citados por Sahin *et al* (2009), manifiestan que el pH de la madera es otro factor importante que puede afectar el proceso de encolado, los tratamientos en caliente resultan en la disminución del pH, puesto que se producen ácidos fórmicos y acéticos, catalizando las reacciones de las amino resinas como la Urea-formaldehído.

Zavala (1991) manifiesta que se agregan catalizadores, para generar una acidez adecuada entre la línea de ensamble o de cola y el pH de la madera.

#### **4.4.7. PRENSADO**

Hancock, mencionado por Córdova (1992), afirma que esta operación se realiza en una prensa de platos calientes cuyo objetivo es lograr el fraguado de la cola mediante la acción de presión, temperatura y tiempo. Al respecto Poblete y Pinto (1993) indican que las reacciones químicas del fraguado de la ureaformaldehído requieren un rango de pH entre 3 y 3,5.

Heritage (1983) menciona que la función de la presión es conducir a los adherentes a un mismo contacto, siendo separados mediante una capa delgada de adhesivo (milésimas de mm.), manteniendo el ensamble unido hasta que el adhesivo haya endurecido lo suficiente para resistir a los esfuerzos cuando la presión es liberada. El nivel de presión requerido depende de:

- El grado preexistente de aspereza en los adherentes.
- La resistencia y módulo del material adherente y su posibilidad para resistir deformaciones bajo presión.

El mismo autor indica que láminas planas y lisas pueden ser ensambladas con presiones específicas relativamente bajas, la magnitud de la presión puede variar entre 10 a 17 kg/cm<sup>2</sup> pero el promedio varía entre 12 kg/cm<sup>2</sup> a 14 kg/cm<sup>2</sup> en tableros contrachapados de maderas blandas.

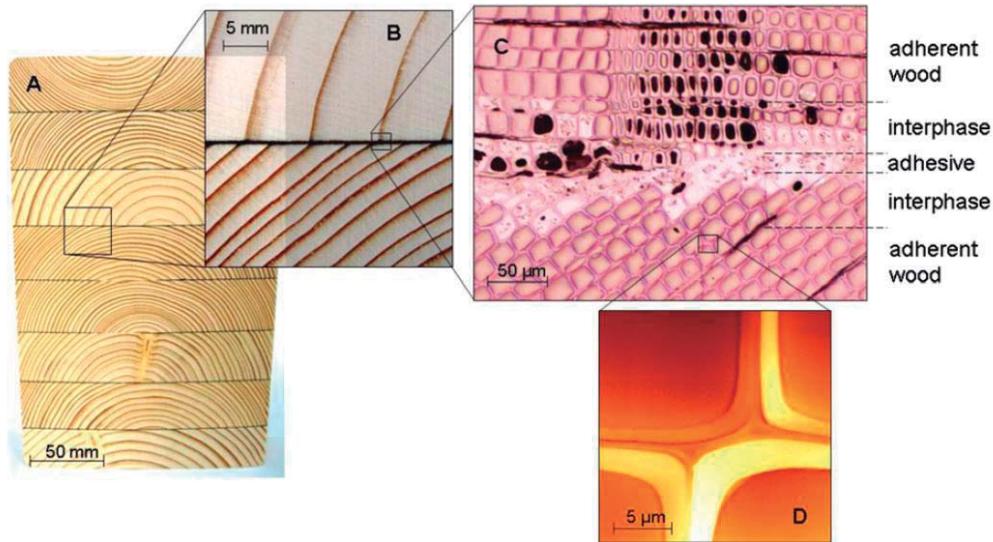
Kamdem, citado por Zavala y Hernández (2002) indica los rangos de prensado utilizados tradicionalmente, manifestando que la temperatura varía de 110 °C a 160 °C, para la presión de los platos que fluctúa entre 10 kg/cm<sup>2</sup> a 14 kg/cm<sup>2</sup>. La Industria Química Vencedor (1989) recomienda para su resina UF - 604 una presión específica de 10 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura entre 105 °C a 110 °C. Para Vignote y Martínez (2006) la presión a la que debe trabajar dependiendo del tipo de cola utilizada (a chapas pares), la superficie del tablero, variando entre los 5 kg/cm<sup>2</sup> a los 12 kg/cm<sup>2</sup> y la temperatura debe situarse alrededor de los 100 °C a 120 °C.

Vignote y Martínez (2006) anotan, con respecto a la temperatura y el tiempo, que la tasa de fraguado puede ser acelerada a elevadas temperaturas, usualmente exponenciales, y el

tiempo mínimo de presión necesario en situaciones específicas de prensado en caliente depende del efecto integral con la temperatura, durante el proceso de calentamiento bajo influencia de los siguientes factores:

- La tasa de fraguado química inherente del adhesivo (basada en el tipo de polímero y efectos del catalizador).
- La temperatura y capacidad de recuperación de la fuente de calor (usualmente platos calientes).
- La masa y la difusividad del ensamblaje al ser calentado.
- La distancia entre la fuente de calor a la línea de cola más profunda (más alejada desde la fuente de calor).

Zavala (1994) manifiesta que las líneas de pegamento en la prensa, transforman la humedad de la lámina y del adhesivo en vapor, ejerciendo presión al intentar liberarse del tablero; cuando se cierra la prensa, la temperatura comienza a incrementarse en las líneas externas manifestando un gradiente de vapor en dirección al interior del tablero, las líneas internas de cola muestran un retraso en el aumento de temperatura por su lejanía a la fuente de calor, de esta manera se encontraría mayor concentración de humedad en el centro del tablero y la menor transferencia de calor a las líneas de pegamento, repercutiendo en una polimerización lenta del adhesivo, hasta que la presión reduzca la fuerza del vapor sobre la resistencia del fraguado de la cola (Figura 5).



**Figura 5: Imágenes de escalas para el encolado.**

*FUENTE: Stoeckel et al 2013.*

Dónde:

A y B: Representación macroscópica del encolado.

C: Indica la zona de la unión.

D: Representa a la pared celular.

Córdova, citado por Paredes (1995), menciona que el tiempo de prensado es un parámetro que depende de las características de la cola y de la especie. Además Albin (1975), señala que para disminuir el tiempo de prensado se agrega catalizadores como sales de amonio, estas mezclas bajan el pH entre 5 y 1 según la rapidez que se desee.

Respecto a las presiones específicas para encolado, Basf peruana (1981) sostiene que la presión ejercida en el encolado deberá ser suficiente para que las láminas entren en íntimo contacto y mantengan esta posición, hasta que la cola haya desarrollado el curado necesario para mantenerlas unidas, la cantidad de presión varía de acuerdo a las especies maderables y la construcción del tablero, así como el tipo de cola empleada. Comúnmente se utilizan las presiones que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8: Presión específica aplicada a las láminas para tableros contrachapados según la densidad básica de la especie**

| <i>Densidad básica de la madera</i> | <i>Rangos de presión específica (kg/cm<sup>2</sup>)</i> |
|-------------------------------------|---|
| Para maderas de alta densidad       | 14 - 17   |
| Para maderas de media densidad      | 10 - 14   |
| Para maderas de baja densidad       | 07 - 10   |

FUENTE: *Basf peruana 1981*

## 5. REACCIONES DEL PRESERVANTE

Richardson (1993) sostiene que una alternativa para preservar tableros contrachapados se da en la línea de cola, aplicándose bajo este sistema ciertos insecticidas orgánicos como lindane, dieldrin y heptaclor que son volátiles y pueden ser distribuidos de manera homogénea durante el prensado en caliente, así también con el pentaclorofenol, que presenta una volatilidad más ligera.

Según Seeger (2009), las sales CCB combinan la acción fungicida del cobre con la acción insecticida del boro y el poder de fijación del cromo para evitar la lixiviación, además, comparadas a las sales CCA, se eliminan los problemas generados por el arsénico, como son la toxicidad y su volatilización como gas arsenamina (AsH<sub>3</sub>), pero el boro se lixivia. Al respecto, Peylo, citado por Caldeira (2010), señala que la lixiviación no puede ser afectada por agentes hidrofóbicos (resinas y ceras) ubicados en la parte interna de la superficie de la madera porque la difusión ocurre en la pared celular.

Borrallo (2007) realizó tratamientos en madera, para comparar el efecto corrosivo de tres preservantes hidrosolubles (sales de cobre) sobre los metales, concluyendo que el CCB es el menos corrosivo, incluso menos que el testigo (sin tratamiento).

Floyd y Ross (sf) indican que los tratamientos en la línea de cola son aplicables en productos de láminas como triplay y LVL (Laminated Veneer Lumber); los ingredientes activos son incorporados en la cola o en el sistema de resina, para ser efectivo debe ser capaz de migrar dentro de las láminas y es importante que sea compatible con la resina y no interfiera con el curado. En cuanto a la urea formaldehído, AITIM (2002) manifiesta que la disminución de

su resistencia biológica se puede evitar añadiendo a la mezcla encolante y en pequeñas cantidades productos a base de boro.

En una investigación realizada por Wen-Yu *et al* (1998) se aprecia que los compuestos de boro migran de la cola a base de melamine urea formaldehído hacia la madera en los tableros contrachapados. Asimismo, Bridaux *et al* (2001) anota que la difusión del boro en la línea de cola es homogénea en láminas de tableros (LVL) usando como adhesivo una base de melamine urea formaldehído mezclada con preservante de ácido bórico.

Así también Colakoglu y Demirkir, citados por Sensogut *et al* (2009), indican que la mezcla de ácido bórico con el adhesivo a base de resina urea formaldehído no demuestra cambios significativos en la resistencia a la tracción de tableros contrachapados.

El Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, citado por Canchucaja (1992), indica que el pH de las soluciones de tratamiento con sales CCB debe oscilar entre 3 y 4 para poder lograr retenciones adecuadas en la madera preservada. A altas temperaturas mantiene su reacción preservante como lo demuestra Humar *et al* (2004), señalando que muestras impregnadas con el compuesto CCB, al ser secadas a 103 C° mantienen su efectividad ante el ataque de cierta clase de hongos.

Chattopadhyay, (2014) manifiesta que la fuerte afinidad por un par de electrones en el ácido bórico y otros boratos compuestos los hace importantes en las aplicaciones de adhesivos, el boro forma una red de puentes de hidrogeno con compuestos del grupo poli – hidroxí de básica importancia en adhesivos. Además, Caldeira (2010) menciona que la madera incrementa la retención del boro conforme va secándose del estado en verde, sin embargo, la penetración es lenta en materiales secos, posiblemente porque se mejora su difusión a mayor contenido de humedad sin perjuicio de la solución absorbida.

Así mismo el IPT (1986) señala que el cromo forma complejos con la madera, en la forma hexavalente se une a la lignina y en estado trivalente forma complejos que generan repelencia al agua y forma los precipitados.

Deppe, citado por Van Acker y Stevens (1996), afirma que la protección de tableros contrachapados debe priorizar en lo posible la adición de preservantes en la mezcla encolante. Además, Caldeira (2010) sostiene que el agente preservante se debe escoger con

cuidado, ya que si interfiere con el curado de la resina, empobrecerá las propiedades físicas del tablero.

Por otro lado, Baldin *et al* (2012) emplea el CCB como producto fungicida e insecticida bajo la formulación en forma de sulfato de cobre, dicromato de potasio y ácido bórico, empleando un nivel de concentración del 2,5 por ciento para el método de desplazamiento de savia.

- Cromo hexavalante, calculado como CrO3.....63,5%
- Boro, calculado como B (elemento).....10,5%
- Cobre, calculado como CuO.....26,0%

Moreschi, (2013) Muestra una formulación considerada típica, en el CCB presentando un 40 por ciento de ingredientes activos en función a la masa seca de la sal resultante (Ver Tabla 9):

**Tabla 9: Formulación de la sal hidrosoluble CCB**

| <i>Compuestos</i>                                      | <i>Porcentaje (%)</i> |
|--|-----------------------|
| <b><i>CuSO<sub>4</sub> · 5 H<sub>2</sub>O</i></b>      | 35,8                  |
| <b><i>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></i></b>              | 22,4                  |
| <b><i>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></i></b> | 38,5                  |
| <b><i>NaHSO<sub>4</sub></i></b>                        | 2,1                   |

*FUENTE: Moreschi, 2013*

Calderón (sf) señala que el preservante CCB se usa al 5 por ciento de concentración; asimismo los compuestos del boro, como el ácido bórico y los boratos, son usados al 2 y 3 por ciento, conociéndose además que las sales hidrosolubles tienen menor viscosidad que otros preservantes.

JUNAC, citado por Millones *et al* (2001) menciona que en la sal CCB (Cobre- Cromo-Boro), el cromo cumple la función de fijador evitando una lixiviación. Menciona también que los compuestos de boro tienen la ventaja de no teñir la madera, ser tóxicos para hongos e insectos, pero inocuos para el hombre y los animales domésticos. Además sostiene que al

utilizarse para preservar madera en construcción de viviendas, muebles y artesanías la concentración expresada como equivalente en ácido bórico varía de 2 a 3%

Al respecto, en una investigación realizada por Kinata *et al* (2013) las sales CCB (una variante de la formulación) comienzan a ser degradadas en madera preservada a partir de los 220 °C, indicando que es atribuible al efecto de la combinación de cada metal y por otro lado a la concentración de dichos metales en la madera.

Según Canchucaja (1992), las proporciones del preservante empleado en forma de óxidos (Tabla 10)

**Tabla 10: Proporción de los componentes activos establecidos para las sales CCB**

| <i>Componente Químico</i>           | <i>Proporción de los componentes (%)</i> |
|-------------------------------------|--|
| <i>Cu O</i>                         | 10,8                                     |
| <i>Cr O<sub>3</sub></i>             | 26,4                                     |
| <i>H<sub>3</sub> BO<sub>3</sub></i> | 25,5                                     |

FUENTE: Richardson, citado por Canchucaja, 1992

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Productos Forestales, Propiedades Físicas y Mecánicas, y en los laboratorios de la empresa Industrias Pacocha ubicada en la ciudad de Lima.

#### **2. MATERIA PRIMA**

Para la preparación de los tableros contrachapados se utilizaron láminas de Sapote (*Matisia cordata*), provenientes del Bosque Nacional de Von Humboldt, Departamento de Ucayali.

#### **3. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.1. MATERIALES**

Los materiales utilizados para la fabricación de los tableros fueron los siguientes:

- Láminas de madera de Sapote (*Matisia cordata*)
- Harina de Trigo sin preparar
- Resina a base de Urea Formaldehído (Vence UF-604) con 52% de sólidos
- Cloruro de amonio
- Preservante: Sal hidrosoluble CCB
- Agua potable
- Otros

##### **3.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

- Balanza analítica
- Viscosímetro digital de Brookfiels
- Potenciómetro digital HANNA
- Prensa de platos calientes ORMA MACHINE

- Termómetro de 0 °C a 150 °C  $\pm 0,1$  °C
- Horno desecador
- Materiales de Vidrio y porcelana
- Micrómetro digital 0,001 mm.
- Xilohigrómetro
- Prensa Universal Tinus Olsen
- Otros

## **4. MÉTODOS**

### **4.1. PREPARACIÓN DE LA COLA**

La preparación de la cola con y sin preservante se realizó utilizando la formulación estándar recomendada por la empresa Industrias Vencedor, obteniéndose las siguientes proporciones:

Sin Preservante (Testigo):      Total: 187      partes

- Resina                                      : 100 partes
- Harina                                        : 50 partes
- Agua                                         : 35 partes
- Catalizador                                : 2 partes

El preservante fue utilizado en estado sólido y disuelto en la cantidad de agua añadida en la formulación de la cola. La adición del preservante a la mezcla encolante, se realizó sobre el peso de la resina sólida de la cola, según la propuesta por la empresa fabricante y los porcentajes se basan en los rangos más usados en las fábricas de la ciudad de Pucallpa, de la siguiente manera:

Formulación con Preservante al 1%: Total: 187,5 partes

- Resina : 100 partes
- Harina : 50 partes
- Agua : 35 partes
- Catalizador : 2 partes
- Preservante : 0,5 partes

Formulación con Preservante al 2%: Total: 188 partes

- Resina : 100 partes
- Harina : 50 partes
- Agua : 35 partes
- Catalizador : 2 partes
- Preservante : 1 partes

Formulación con Preservante al 3%: Total: 188,5 partes

- Resina : 100 partes
- Harina : 50 partes
- Agua : 35 partes
- Catalizador : 2 partes
- Preservante : 1,5 partes

Los porcentajes de cola preparados para cada tablero a base de urea-formaldehído fueron realizados según la recomendación:

- Urea formaldehído 53,48 %
- Harina de Trigo 26,74 %
- Agua 18,71 %
- Cloruro de Amonio 1,07 %
- Total 100,0 %

Los porcentajes que se utilizaron para cada tratamiento se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Porcentaje de insumos por tratamientos con preservantes**

| <b>Componentes de la formulación</b> | <b>Porcentajes por tratamiento (%)</b> |                         |                         |
|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
|                                      | <b>Preservante (1%)</b>                | <b>Preservante (2%)</b> | <b>Preservante (3%)</b> |
| <b>Ureaformaldehido</b>              | 53,33                                  | 53,19                   | 53,05                   |
| <b>Harina de trigo</b>               | 26,66                                  | 26,60                   | 26,53                   |
| <b>Agua</b>                          | 18,67                                  | 18,62                   | 18,56                   |
| <b>Cloruro de Amonio</b>             | 1,07                                   | 1,06                    | 1,06                    |
| <b>Preservante</b>                   | 0,27                                   | 0,53                    | 0,8                     |
| <b>Total</b>                         | 100%                                   | 100%                    | 100%                    |

*Fuente: Elaboración Propia*

La cantidad de cola utilizada para la conformación de cada tablero fue calculada considerando un gramaje de 220 g/m<sup>2</sup>:

La formulación del adhesivo por tablero se realizó para una superficie 0,72 m<sup>2</sup>, por lo tanto se aplicó 158,4 g. de cola para cada uno de los tableros bajo la siguiente distribución en masa:

- Urea formaldehído 84,71 g.
- Harina de trigo 42,36 g.
- Agua 29,64 g.

- Cloruro de Amonio 1,69 g.

El peso de los componentes utilizados por tratamiento, para la elaboración de los tableros contrachapados, se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12: Peso de la mezcla del adhesivo por tablero contrachapado elaborado**

| <b>Componentes de la formulación</b> | <b>Peso de la cola por tablero (g)</b> |                         |                         |
|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
|                                      | <b>Preservante (1%)</b>                | <b>Preservante (2%)</b> | <b>Preservante (3%)</b> |
| <b>Ureaformaldehido</b>              | 84,47                                  | 84,25                   | 84,03                   |
| <b>Harina de trigo</b>               | 42,23                                  | 42,13                   | 42,02                   |
| <b>Agua</b>                          | 29,59                                  | 29,50                   | 29,40                   |
| <b>Cloruro de Amonio</b>             | 1,69                                   | 1,68                    | 1,68                    |
| <b>Preservante</b>                   | 0,43                                   | 0,84                    | 1,27                    |
| <b>Total</b>                         | 158,4 g.                               | 158,4 g.                | 158,4 g.                |

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA RESINA DE UREAFORMALDEHIDO**

Se realizaron tres pruebas para controlar la calidad de la resina:

- Viscosidad: Norma ASTM D 1084 – 97. Standard Test Method of Adhesives.
- pH : Norma ASTM E 70-97. Standard Test Method for Viscosity of Adhesives
- Contenido de sólidos: Norma ASTM D 1490–01. Standard Test Method for Nonvolatile Content of Urea Formaldehyde Resin Solutions.

#### **4.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA COLA**

##### **4.3.1. VISCOSIDAD**

La viscosidad fue analizada para cada una de las mezclas encolantes, utilizando el viscosímetro Brookfield. Las mediciones se realizaron cada 10 minutos y durante un tiempo total de 120 minutos.

#### **4.3.2. PH**

Se determinó el pH para cada una de las mezclas encolantes preparadas, la cual se realizó en forma simultánea con la medición de la viscosidad.

#### **4.4. PREPARACIÓN DE LOS TABLEROS CONTRACHAPADOS**

##### **4.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMINAS**

Las láminas de madera utilizadas tienen las siguientes características:

- Especie : Sapote (*Matisia cordata*) 600 mm (largo) x 600 mm (ancho)
- Espesores : 2 Caras de 1,5 mm y un alma de 4,5 mm
- CH : 9 - 10 %

Se procedió también a medir el pH de la madera de acuerdo a lo recomendado por Johns y Niazi (1980).

##### **4.4.2. NÚMERO DE TABLEROS**

Se prepararon cinco tableros para cada una de las tres concentraciones para mezclas encolantes, más cinco tableros testigo sin preservante.

##### **4.4.3. IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS**

La identificación de muestras de láminas se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera del Departamento de Industrias Forestales de la UNALM.

#### **4.5. APLICACIÓN DE LA COLA**

La aplicación de la cola se realizó en forma manual, utilizando un extendido neto de 220 g/m<sup>2</sup>, valor generalmente utilizado por la industria de fabricación de tableros contrachapados.

#### **4.6. PRENSADO**

El prensado de los tableros se realizó en una prensa de platos calientes ORMA MACHINE empleando las siguientes variables:

- Temperatura : 125 °C
- Presión específica : 9,9 kg/cm<sup>2</sup>
- Tiempo : 3 minutos

#### **4.7. CONTROL DE CALIDAD DE LOS TABLEROS**

- Para el ensayo físico se empleó la Norma Técnica INDECOPI 251.042: 1979 revisada el 2010 Tableros de Madera Contrachapados.
- Para el ensayo mecánico se utilizó la Norma Técnica ASTM D 906 – 98 Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Plywood Type Construction in Shear by Tension Loading.

#### **4.8. DISEÑO ESTADÍSTICO**

Para comparar el efecto del preservante sobre el pH y la viscosidad, se realizó un análisis de varianza. Para el ensayo físico se evaluó la resistencia a la humedad entre tratamientos utilizando la prueba de comparación no paramétrica de Kruskal – Wallis, que realiza una comparación de medianas entre tratamientos. Para evaluar la resistencia de la línea de cola a los esfuerzos de tracción paralela al grano se utilizó un diseño experimental randomizado y la prueba de comparación de Duncan.

•



## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ DE LA MADERA**

El valor promedio de pH de las muestras de madera del Sapote es 5,5, considerándose como ligeramente ácida, por lo tanto es un complemento favorable para el fraguado con la Urea formaldehído.

### **2. CONTROL DE CALIDAD DE LA COLA**

#### **2.1. CONTROL DE CALIDAD DE LA RESINA**

En el control de calidad de la resina Vence UF-604 se obtuvieron los siguientes resultados:

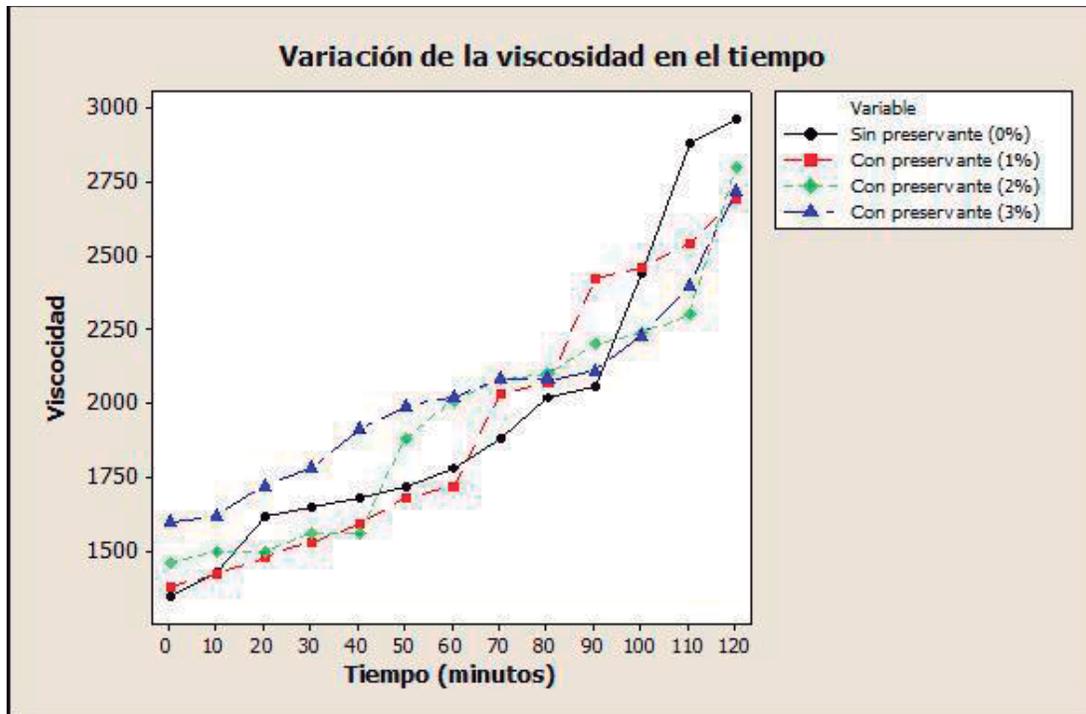
- Contenido de sólidos                      52%
- Viscosidad a 25 °C                      150 cp
- pH a 25 °C                                  7,9

Estos resultados muestran que los valores obtenidos estuvieron dentro de los rangos recomendados y obtenidos en trabajos de investigación similares.

#### **2.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA COLA**

En el Anexo 1 se encuentran los cuadros con los resultados de la variación de la viscosidad y el pH en función al tiempo de las mezclas encolantes en un periodo de 120 minutos.

La figura 7 muestra, para todas las mezclas estudiadas, que con el transcurso del tiempo la viscosidad de la cola aumenta, no encontrándose diferencias significativas con el uso del preservante CCB en la formulación del adhesivo. Por lo tanto, existe una relación directamente proporcional entre ambas variables. Sin embargo, la variación de la masa de cada uno de los compuestos de la cola, parece no generar influencia en la fabricación del adhesivo mezclado con preservante.



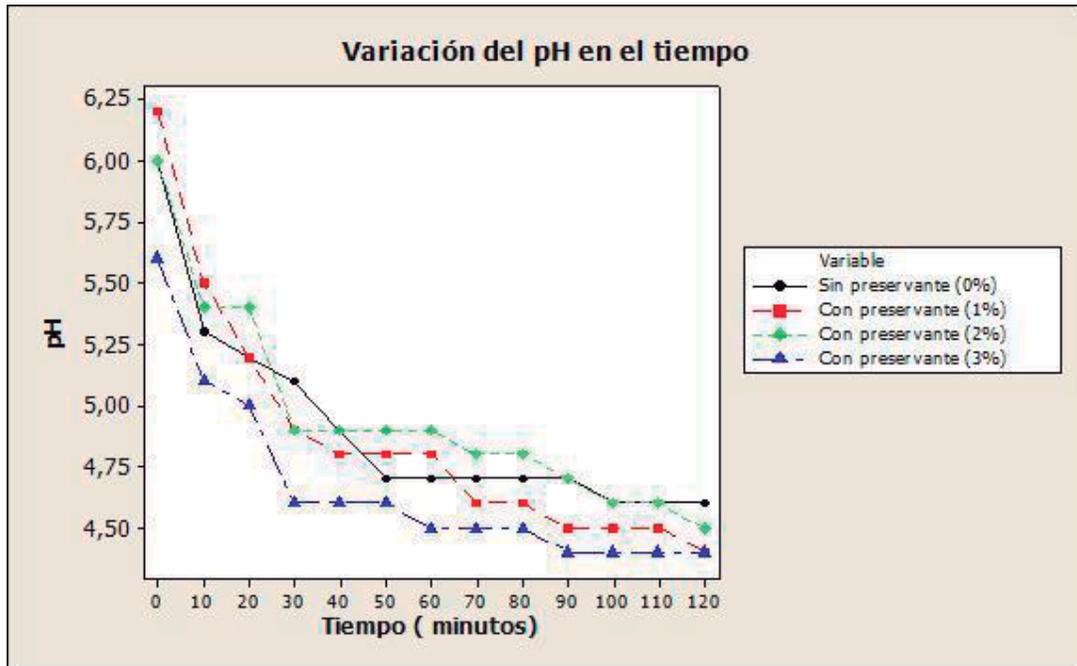
**Figura 7: Variación de la viscosidad de la mezcla encolante en tableros contrachapados de sapote a diferentes concentraciones de sales CCB, en relación al testigo en el tiempo**

*FUENTE: Elaboración propia*

La prueba se realizó con el objetivo de predecir el comportamiento de las colas en un tiempo de 120 minutos, donde se comprueba lo reportado por Singh *et al* (2014), sobre las reacciones de metilación y la ligera condensación, que se manifiestan en la resina de ureaformaldehído. Además Pizzi y Despres, citados por Park y Jeong (2001) señalan que al inicio, las capas de resina de Ureaformaldehído en estado coloidal se van agrupando, eventualmente con el paso del tiempo fueron cambiando a super estructuras cohesionadas. En los primeros 10 minutos se aprecia mayor afinidad con el preservante CCB, sin embargo, la variación es mínima y con el paso del tiempo los valores se entrecruzan, puesto que el preservante es una sal hidrosoluble de baja viscosidad y de poca reacción con la resina.

Por lo tanto, el sistema adhesivo podría mantener un cierto grado de penetrabilidad, sin verse afectado por la adición del preservante. Asimismo, podría suceder para este caso lo mencionado por Rowell (2005), al indicar que los preservantes son químicos adicionados al adhesivo, que sirven para proteger uno o más componentes del producto ante el deterioro biológico.

En la figura 8, se aprecia la mínima influencia de las sales CCB en la acidez de la mezcla encolante, siendo que durante el tiempo el valor del pH disminuye para todas las mezclas, por considerarse que el preservante utilizado no afecta de manera significativa al pH de la cola.



**Figura 8: Variación del pH de la mezcla encolante en tableros contrachapados de Sapote a diferentes concentraciones de sales CCB en relación al testigo en el tiempo**

*FUENTE: Elaboración propia*

Al respecto, Costa *et al* (2011) señala que el catalizador consume el formaldehído para crear un ambiente de acidez, generando productos que disminuyen el pH, esenciales para la reacción del curado. Por lo tanto, el uso del preservante CCB al 1, 2 y 3 por ciento, al no alterar la acidez, podría no generar reacciones con los compuestos activos de la mezcla encolante como el formaldehído, entonces, no afectaría el periodo de almacenamiento y no presentaría problemas de pre-curado del adhesivo a base de la resina de ureaformaldehído, ni deterioro de materiales y equipos. Además la ligera acidez del preservante, podría generar lo mencionado por Rowell (2005), sobre la resina de ureaformaldehído y la presencia de ácidos que se mantienen latentes hasta catalizar las reacciones de la cola durante el fraguado en altas temperaturas.

Para comparar el efecto del preservante a diferentes niveles sobre el pH y la viscosidad respectivamente, se realizó un Análisis de varianza (Anexo 1), donde el factor de estudio fue el preservante en diferentes proporciones, es decir:

- Sin preservante (0%) - Testigo
- Con preservante (1%)
- Con preservante (2%)
- Con preservante (3%)

El ANVA del preservante sobre el pH se observa que a un nivel de significación del 5%, no se encontró un efecto del preservante a diferentes porcentajes estudiados sobre el grado de pH. Por lo tanto no existe diferencias significativas entre el preservante (a diferentes porcentajes) sobre el grado de pH para los tableros contrachapados de Sapote.

El ANVA del preservante sobre la viscosidad, indica que a un nivel de significación del 5%, no existe un efecto del preservante a diferentes porcentajes sobre el grado de viscosidad. Por lo tanto no existe diferencias significativas entre el preservante (a diferentes porcentajes) sobre el grado de viscosidad para los tableros contrachapados de Sapote.

Por consiguiente, del control de cola a base de urea-formaldehído se puede afirmar que no existen diferencias significativas en la adición del preservante en la mezcla, tanto para el nivel de pH y la viscosidad en tableros contrachapados de Sapote.

### **3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS TABLEROS**

#### **3.1. ENSAYO FÍSICO**

En la Tabla 13 se observan los resultados promedio de resistencia a la humedad de los tableros de “Sapote” elaborados con preservantes CCB en diferentes cantidades en la línea de cola y para tableros testigo.

**Tabla 13: Valores promedio de los ensayos físicos de tableros preparados con y sin preservante en la línea de cola**

| <i>FORMULACIÓN</i> | <i>TRATAMIENTO</i>   | <i>PROMEDIO</i> |
|--------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Vencedor</b>    | Sin preservante (0%) | 6               |
|                    | Con preservante (1%) | 6               |
|                    | Con preservante (2%) | 6               |
|                    | Con preservante (3%) | 4               |

*Fuente: Elaboración Propia*

Al evaluar los resultados obtenidos, y de acuerdo a la escala de resistencia para comparación utilizada (Anexo 2), las probetas testigo obtuvieron un valor de 6 que resulta representativo, por lo que Park y Jeong (2011), señalan que las regiones cristalinas de la resina curada de ureaformaldehído de baja molaridad Formaldehído/urea, contribuyen a incrementar la estabilidad a la hidrólisis. Al respecto Park y Causin (2012) señalan que esta molaridad significa la aparición de zonas cristalizadas de mayor tamaño, y menos espacios libres, generando estabilidad ante el paso del agua.

Los tableros preparados con preservante en la formulación de la cola, a niveles del 1 y 2 por ciento, presentan el mismo valor de resistencia a la humedad que los tableros testigo, con una calificación de 6, por lo cual el preservante CCB podría no formar parte de la estructura cristalina de la cola, al no reaccionar con ésta.

Con respecto a la mezcla encolante con 3 por ciento de preservante, se encontró un valor de 4, considerándose como un encolado regular, que también sería aceptable comparándolos con estudios similares. Esta disminución de la resistencia podría deberse a la exposición de los grupos hidrolizables de la resina y a la posible lixiviación del boro, donde se conforman de enlaces que podrían liberar posteriormente los espacios entre el sistema adhesivo y el sustrato, que según Pizzi *et al*, citado por Bridaux (2001) puede ocasionar problemas de fijación ya que los boratos se lixivian fácilmente en agua. A esto se agrega lo manifestado por Park y Jeong (2011), que indican que en la estructura de la resina se encuentra un mayor grado de ramificaciones y gran probabilidad de exponer grupos metilol a una hidrólisis.

Se realizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis (Anexo 2 A) para analizar la resistencia de los tableros contrachapados a la humedad, encontrándose diferencias significativas entre los diferentes tratamientos realizados a las colas conformadas a base de urea-formaldehído.

A un nivel de significación del 5 por ciento, Se puede afirmar que existe un efecto significativo en el uso del preservante (al menos un nivel es diferente) sobre la resistencia de la línea de cola de los tableros para uso interior.

### 3.2. ENSAYO MECÁNICO

En la Tabla 14, se aprecia que los valores de resistencia a la tracción paralela en los tableros tratados al 3 por ciento de preservante CCB, presentan un promedio de 14,31 kg/cm<sup>2</sup>, siendo superior al testigo (sin preservante) cuyo valor es 8,53 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, estos valores se consideran similares a los encontrados por Córdova (1992) Ttito (2007), Santos (2007), Canchucaja (2002).

**Tabla 14: Valores promedio de los ensayos mecánicos en tableros preparados con y sin preservante en la línea de cola**

| <i>FORMULACIÓN</i> | <i>TRATAMIENTO</i>   | <i>VALOR PROMEDIO (kg/cm<sup>2</sup>)</i> |
|--------------------|----------------------|---|
| <b>Vencedor</b>    | Sin preservante (0%) | 8,53                                      |
|                    | Con preservante (1%) | 9,82                                      |
|                    | Con preservante (2%) | 12,74                                     |
|                    | Con preservante (3%) | 14,31                                     |

*Fuente: Elaboración Propia*

Asimismo, los resultados de los ensayos de resistencia mecánica de los tableros testigo de Sapote, son ligeramente menores con respecto al promedio de los tableros elaborados con Lupuna, debiéndose posiblemente por un bajo grado de contacto o de enlace y a la débil estructura de la resina. Al respecto, Rowell (2005) manifiesta que un bajo nivel de encolado resulta por infra- o sobre- penetración del adhesivo; en el primer caso la cola no es capaz de moverse dentro de la madera lo suficiente para obtener una fuerte interacción; en contraste, lasobre-penetración fluye mucho adhesivo dentro de la madera, dejando así una cantidad

insuficiente para la formación de enlaces que genera la línea de cola entre los adherentes, empobreciendo la unión.

Otra alternativa podría ser el bajo grado de activación del “Sapote”, debido a la variación del pH de la superficie por los procesos previos al encolado. Al respecto Marra, citado por Custodio *et al* (2008), indica que en una situación de inactivación superficial, la penetración del adhesivo puede tomar lugar, llenando los espacios vacíos en la superficie de la madera; sin embargo, el adhesivo no es molecularmente atraído, resultando un débil enlace en la interface.

Al evaluar la resistencia mecánica en los tableros contrachapados con preservante CCB en la formulación, se aprecia un incremento en los niveles de resistencia de acuerdo al grado adicionado, según señala Bridaux *et al* (2001) al agregar ácido bórico como preservante en distintas cantidades se incrementa la resistencia al encolado.

Las sales CCB en la mezcla encolante generan un incremento en la resistencia a la tracción de los tableros contrachapados, lo cual indica mayor adhesión, ya que durante el fraguado de la cola, sus compuestos tienen mayor movilidad y le brindan mayor unión con el sustrato. Al respecto, Goodman y Dodiuk (2014) manifiestan que el ácido bórico es recomendado como un agente de curado. Además, Peylo y Willeitner, citados por Caldeira (2010), muestran que la difusión del boro se manifiesta incluso a un humedad menor del 20 por ciento. Asimismo, el mismo autor señala que su difusión aumenta con la temperatura.

Esto corrobora lo manifestado por Hartford, citado por Canchucaja, (1992), al indicar que las reacciones químicas que se producen para la precipitación de las sales en la madera, son caracterizadas por la presencia del cromo hexavalente que reduce parcial o totalmente extractivos o produce la fijación de los otros componentes del preservante.

El preservante CCB podría acomodarse en la línea de cola, generando un efecto sobre los enlaces entre grupos funcionales de la mezcla y la madera. Sin embargo, sus componentes no reaccionan con la cola a temperatura de almacenamiento, siendo corroborado por Richardson, (1993), al señalar que durante la elaboración de tableros contrachapados, el ácido bórico no se considera volátil, pero en presencia de vapor se comporta de dicha forma, y se considera muy adecuado porque actúa como un acelerador para algunos adhesivos.

En la Tabla 15, se muestra el análisis de variancia de los ensayos mecánicos de los tableros preparados con preservante y sin preservante en la mezcla encolante. Del análisis de variancia se puede concluir que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados.

**Tabla 15: Análisis de variancia de los ensayos mecánicos de tableros preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola.**

| <i>FUENTE DE VARIACIÓN</i> | <i>GL</i> | <i>SC</i> | <i>CM</i> | <i>F</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| <i>Tratamientos</i>        | 3         | 201,23    | 67,07     | 21,03    |
| <i>Error</i>               | 35        | 111,63    | 3,189     |          |
| <i>Total</i>               | 38        | 312,86    |           |          |

*Fuente: Elaboración Propia*

cV =15,63

PROMEDIO =13,67

En la Tabla 16, se encuentra la prueba de comparación de medias de Duncan (Anexo 3) para tableros preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola.

**Tabla 16: Prueba de Duncan para tableros contrachapados preparados con preservante y sin preservante en la línea de cola**

| <i>TRATAMIENTOS</i>  |       |
|----------------------|-------|
| Sin preservante (0%) | 8,53  |
| Con preservante (1%) | 9,82  |
| Con preservante (2%) | 12,74 |
| Con preservante (3%) | 14,31 |

*Fuente: Elaboración Propia*

$\alpha = 0,005$

$df = 195$

$CME = 3,189$

**Conclusión:** A un nivel de significación del 5%, los efectos de los preservantes son significativos y se denotan de la siguiente manera:

$$\overline{Y}_3 \overline{Y}_2 > \overline{Y}_1 \overline{Y}_0$$

Lo cual quiere decir, que no existen diferencias entre los preservantes 3 y 2 pero si brindan mejor rendimiento que el preservante 1 y 0, y en estos 2 últimos tampoco existe diferencias.

## V. CONCLUSIONES

- 1) El uso del preservante CCB del 1 al 3 % de concentración en la formulación del adhesivo en base a urea formaldehído, mantiene sus características de fraguado, de viscosidad y pH.
- 2) La resistencia a la humedad de los tableros contrachapados de sapote elaborados con preservante CCB al 1 y 2 % de concentración adicionados en la formulación del adhesivo, muestra similares resultados al testigo.
- 3) La utilización de preservante CCB a una concentración mayor del 2 % en la formulación de la cola reduce la resistencia a la humedad del producto, siendo significativa por encima del 3 %.
- 4) La resistencia a la tracción paralela de los tableros contrachapados de sapote utilizando preservante CCB en la formulación del adhesivo se incrementa hasta el 2 % significativamente cuando se aumenta su concentración.
- 5) Se presenta un decrecimiento en el incremento al 3 %, de concentración como consecuencia de la disminución de su resistencia a la humedad del tablero que es inducido por una mayor concentración.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- Estudiar del efecto del preservante CCB en la resistencia biológica de los tableros contrachapados.
- Evaluar la factibilidad de uso de otros preservantes en la fabricación de tableros contrachapados, con el fin de incrementar su vida útil en servicio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITIM (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, ES). 2002. Investigación sobre los adhesivos(en línea). no 215. Consultado 7 jul. 2014. Disponible en [http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_4348\\_13390.pdf](http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_4348_13390.pdf)
- Albin, R. 1975. Determinación del pH en diversas especies de los renovales de la provincia de Valdivia (en línea). Consultado 14 oct. 2014. Disponible en <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v1n1/art02.pdf>
- Aróstegui, A. 1974. Estudio tecnológico de la Madera en el Perú. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina. v. 1. 483 p.
- \_\_\_\_\_; Gonzales, F; Sato, A. 1980-81. Propiedades tecnológicas y usos de la Madera de 40 especies del Bosque Nacional Alexander Von Humboldt. *Revista Forestal del Perú* 10(1-2):82
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US).1997a.Designation: D 1084-97.s.l.,s.e. 5 p
- \_\_\_\_\_. 1997b. Designation: E 70-97. s.l., s.e. 6 p.
- \_\_\_\_\_. 1998. Designation D: 906-98. s.l., s.e. 4 p.
- \_\_\_\_\_. 2001. Designation D: 1490-01. s.l.,s.e. 2 p.
- Aydin, I. 2004. Activation of wood surfaces for glue bonds by mechanical pre-treatment and its effects on some properties of veneer surfaces and plywood panels. *Applied Surface Scienceno.* 233:268-274.
- \_\_\_\_\_; Colakoglu, G;Hiziroglu, S. 2005. Surface characteristics of spruce veneer and shear strengthof plywood as a function of log temperature in peeling process. *International Journal of Solids and Structures*no. 43:6140-6147.

- Baldin, T;Mazzonetto, C;Grassi, A; Morani, R;Spanhol, A;Pertuzzatti, A. 2012. aplicação do método de substituição de seiva em moirões de hoveniadulcisthumb(en línea). Consultado 13 oct. 2014. Disponible en [http://www.congressoflorestalrs.com.br/documentos/anais/tomo4\\_tecnologia.pdf](http://www.congressoflorestalrs.com.br/documentos/anais/tomo4_tecnologia.pdf)
- Basf Peruana S.A. 1981. Resina Sintética Korivit 390. Folleto Técnico. Lima, PE, s.e. 4p.
- Borrallo, M. 2007. Construcción en Madera: influencia de los protectores de madera basados en sales hidrosolubles en la corrosión de herrajes metálicos (en línea). Consultado 20 oct. 2014. Disponible en <https://www.google.com.pe/#q=informesdelaconstruccion.revistas.csic.es%2Findex.php%2F...%2Farticle%2F...%2F580>
- Bridaux, V;Charrier, B;Fauroux, N; Charrier, F; Goncales, J. 2001. Addition of Boron based compound in the LVL glue-line: Effect on the Mechanical Properties and the Leaching of Boron(en línea). Consultado 11 jul. 2014. Disponible en [http://www.researchgate.net/publication/258009501\\_Bridaux\\_2001\\_LVLboric\\_acid](http://www.researchgate.net/publication/258009501_Bridaux_2001_LVLboric_acid)
- Caldeira, F. 2010. Boron in Wood Preservation A Review in its Physico-Chemical Aspects (en línea). Consultado 14 oct. 2014. Disponible en <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v18n2/v18n2a05.pdf>
- Calderón. s.f. Preservación de Maderas (en línea). Consultado 16 oct. 2014. Disponible en [http://campus.fca.uncu.edu.ar:8010/pluginfile.php/9336/mod\\_resource/content/0/Preservaci\\_n\\_de\\_maderas.pdf](http://campus.fca.uncu.edu.ar:8010/pluginfile.php/9336/mod_resource/content/0/Preservaci_n_de_maderas.pdf)
- Canchucaya, J. 1992. Control de Calidad para Postes Preservados por Desplazamiento de Savia. Tesis Mag. Sc. Lima, PE, UNALM. 85 p.
- \_\_\_\_\_; Miguel, L. 2002. Influencia de la presión específica en el prensado de tableros contrachapados de Lupuna (*Chorisia integrifolia*) (en línea). Consultado 25 oct. 2014. Disponible en [http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/123456789/832/2002\\_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/123456789/832/2002_04.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chattopadhyay, A. 2014. “Boring” Boron and Adhesives: Boron plays an important role in the formulation of adhesives (en línea). Consultado 23 oct. 2014. Disponible en <http://www.adhesivesmag.com/articles/93226-boring-boron-and-adhesives>

- Córdova, R. 1992. Harina de madera como carga en la formulación de colas para tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 92 p.
- Costa, N; Pereira, J; Martins, J; Ferra, J; Cruz, P;Magalhaes, F; Mendes, A; Carvalho, L. 2011. Alternative to latent catalysts for curing UF resins used in the production of low formaldehyde emission wood-based panels. International Journal of Adhesion &Adhesives no. 33:56-60.
- Custodio, J; Broughton, J;Cruz, H. 2008. A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints. International Journal of Adhesion & Adhesives no.29:173-185.
- DemirKir, C;Ozsahin, S; Aydin, I; Colacoglu, G.2013. Optimization of some panel manufacturing parameters for the best bonding strength of plywood. International Journal of Adhesion and Adhesiveno. 46:14-20.
- Dunky, M;Pizzi, T; Van Leemput, M. 2002. Wood Adhesion and Glue Products: Density and Porosity(en línea). Consultado 27 jun. 2014. Disponible en <http://users.teilar.gr/~mantanis/E13-Wood-Adhesion.pdf>
- Ferra, J; Ohlmeyer, M; Mendes, A; Costa, M; Carvalho, L; Magalhaes, F.2010. Evaluation of urea-formaldehyde adhesives performance by recently developed mechanical tests. International Journal of Adhesion &Adhesivesno.31:127-134.
- Floyd, B;Ross, A. sf. Treatments for Improving the Durability of Engineered Wood Products (en línea).Consultado 31 jun. 2014. Disponible en <http://www.apawood.org/EWTA/TechForum/SERVICE%20LIFE.pdf>
- French, G. 1977. Diseño y operación de planta productoras de tableros contrachapados. Control de calidad. Trad. J Alcazar. Ministerio de Industria y Turismo.Lima, PE, s.e. 334p.
- Frybort, S; Obersriebnig, M; Muller, U; Wolfgang, G; Konnerth, J. 2014. Variability in surface polarity of wood by mean of AFM adhesion force mapping. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspectsno.457:82-87.
- Heritage, G. 1983. Adhesive bonding of wood and other structural materials. Surface properties of wood and their influence on bonding. Ed. RF Blomquist. Pennsylvania, US. The Pennsylvania State University v. 3 .436 p.

- Humar, M; Pohleve, F; Amarty, S. 2004. Influence of boron in CCB formulation on growth and decay of copper tolerant fungi(en línea). Consultado 11 jul. 2014. Disponible en [http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke\\_asistentov/mhumar/clanki/2004\\_influence\\_of\\_leaching\\_of\\_CCB\\_Holz\\_als\\_Roh.pdf](http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mhumar/clanki/2004_influence_of_leaching_of_CCB_Holz_als_Roh.pdf)
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, PE). 1979. Norma Técnica Peruana 251.042 reeditada 2010. Lima, PE. 5p.
- Industria Química Vencedor S.A. 1989. VENCE - UF 600. Catálogo de resinas a base de urea formaldehído. Departamento Técnico – Lima, PE. 5 p.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo, BR). 1986. Manual de Preservacao de madeiras: Preservativos e sistemas preservativos. Ed, E. Silva. Sao Paulo. v. 1, 342 p.
- Johns, W; Niazi, K. 1980. Effect of pH and buffering capacity of Wood on relation time of Ureaformaldehyde resin. Wood and fiber 12(4):255-263.
- Julca, P. 1987. Aptitud al laminado de siete especies Forestales de la región Madre de Dios. Características de la Madera que influyen en el proceso de corte. Tesis Ing, Forestal. Lima, PE, UNALM. 96p.
- JUNAC (Junta de acuerdo de Cartagena, CO). 1984. Manual de diseño para maderas del grupo andino: Estructura de la Madera. 3 ed. Lima, PE. p 15.
- \_\_\_\_\_. 1988. Manual del Grupo Andino en la Preservación de Maderas. Agentes Destructores de la Madera. Lima, PE, Proyecto Subregional de Promoción Industrial de la Madera para Construcción. p 115- 130.
- Kinata, S; Loubar, K; Paraschiv, M; Bouslamti, A; Belloncle, C; Tazerout, M. 2013. Slow pyrolysis of CCB-treated wood for energy recovery: Influence of chromium, copper and boron on pyrolysis process and optimization. Elsevier Ltd. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis no.104: 210-217.
- Kollman, F. 1975. Principles of wood science and technology - Wood base material. Berlin, DE, Springer - Verlag. v. 2. 703 p.
- Kroll, B. 1987. Caracterización dendrológica de la Bombacaceae del Proyecto Dantas. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 230 p.

- Kubota, M; Saito, M. 1974. The utilization of Sawdust as a filler of Plywood adhesive. Environment Canada translation. Journal of Hokkaido Forest Products research Institute Japan 23(7):25.
- Luzts, J. 1974. Forest Product Laboratory Madison Wisconsin: Techniques for peeling Sleecing and drying veener. s.l., s.e.p. 464-468.
- Maloney, M. 1977. Modern particuleboard y dry process timberboard manufacturing. Miller Freeman Publicitation INC. San Francisco, US. 672p.
- Miguel, L. M. 1988. Rendimiento de la madera rolliza de 3 especies tropicales en la fabricación de Chapas decorativas. Lima, PE. 100p.
- \_\_\_\_\_. 2013. Reportes del ciclo de campo II: Productos de transformación mecánica de la madera. Sin publicar.
- \_\_\_\_\_; Canchucaja, J. 2003. Anales Científicos:Utilización del “Sapote” (*Matisia cordata Humb. Et Bonpl.*) en la industria del laminado. v. 55: 7-19.
- Millones, J; Gonzales, R; Trujillo, F. 2001. Valor eficaz de un preservante (compuesto bórico) en el tratamiento de tres maderas comerciales de baja durabilidad natural (en línea). Consultado 14 oct. 2014. Disponible en [http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/123456789/706/2001\\_v9\\_13.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/123456789/706/2001_v9_13.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Moreschi, J. 2013. biodegradação e preservação da madeira: Preservativos Hidrossluveis(en línea).Consultado 15 oct. 2014. Disponible en <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/BPM-VOL2.pdf>
- Paredes, A. 1995. Harina de plátano como extendedor en la formulación de la cola para tableros contrachapados. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 80 p.
- Park, B;Jeong. H. 2011. Hydrolytic stability and crystallinity of cured urea-formaldehyde resin adhesives with different formaldehyde/urea mole ratios. International Journal of Adhesion and Adhesivesno. 31:524-529.
- \_\_\_\_\_; Causin, V. 2012. Crystallinity and domain size of cured urea–formaldehyde resin adhesives with different formaldehyde/urea mole ratios.EuropeanPolymerJournalno.49: 532-537.

- Poblete, H; Pinto, A. 1993. Avances sobre el efecto del catalizador en el fraguado de ureaformaldehído en tableros de teja (en línea). Consultado 13 oct. 2014. Disponible en <http://books.google.com.pe/books?id=DJe4p0vkbBAC&pg=PA58&lpg=PA58&dq=acidez+de+la+madera&source=bl&ots=bACXOAynbx&sig=alnWqUj-Ss8Pv-L9KeSl879A5e4&hl=es&sa=X&ei=821AVLjMBonLggSH-oLADA&ved=0CDQQ6AEwAw#v=onepage&q=acidez%20de%20la%20madera&f=false>
- Ramírez, P. 2012. Caracterización del mercado local, Regional, Nacional y Determinación de Nichos Potenciales de Mercados Nacionales e Internacionales: Productos de transformación primaria a nivel nacional (en línea). Consultado 13 jun. 2014. Disponible en <http://www.aider.com.pe/pdf/Ucayali/ITTO/Informe%20de%20Nichos%20de%20Mercado.pdf>
- Rengifo, R. J. 1990. Durabilidad natural de la Madera de 9 especies forestales de la Familia Bombacaceae. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE, UNALM. 80 p.
- Richardson, B. 1993. Wood preservation: Preservation systems (en línea). 2 ed. E y FN Spon. London. Consultado 13 oct. 2014. Disponible en <http://books.google.com.pe/books?id=gAORAgAAQBAJ&pg=PA91&lpg=PA91&dq=preserving+adhesives+and+plywood&source=bl&ots=t7GL-G3oVX&sig=uo0YYZn3SdRS5kZl5U182NQj2u8&hl=es&sa=X&ei=0BY8VPKNJNHAggSk0IC4Dw&ved=0CDIQ6AEwAw#v=onepage&q=preserving%20adhesives%20and%20plywood&f=false>
- Rowell, R. 2005. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites: Wood Composites(en línea). Consultado 15 jun. 2014. Disponible en <http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplusdirect/10.1201/9780203492437.fmatt>
- Sahin, H;Uysal, B; Altun, S; Kurt, H. 2009. Shear strength of heat treated Pine Wood (*Pinus nigra*) with some structural adhesives(en línea). Consultado 29 jun. 2014. Disponible en <http://jestech.karabuk.edu.tr/arsiv/2009-1/Hamiyet%20C5%9Eahin%20Kol%20Volume%2012-1,6.pdf>

- Sanchez, A; Zogg, M;Ermanni, P. 2012. Methodology for optimization of the curing cycle of paste adhesives. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. Zurich, ALno.40:112-119.
- Santos, N.2007. Harina de Pituca (*Colocasia esculenta schott*) como extendedor en la formulación de cola para tableros contrachapados. Tesis Ing.Forestal. Lima, PE, UNALM. 56 p.
- Sanz F; Latour, S; Neves, M. 2006. Aplicações industriais do pinheiro bravo: Características gerais da adesao (en línea). Consultado 14 oct. 2014. Disponible en [http://www.clustermadeira.com/pdf/Pinho\\_Pinaster\\_PT.pdf](http://www.clustermadeira.com/pdf/Pinho_Pinaster_PT.pdf)
- Seeger, B. 2009. Madera petrificada para la construcción: ignífuga, resistente a la pudrición y al ataque de termitas (en línea). Consultado 24 jun. 2014. Disponible en [http://www.oyp.ucsc.cl/5/seeger\\_ch\\_bn.pdf](http://www.oyp.ucsc.cl/5/seeger_ch_bn.pdf)
- Sensogut, C;Ozalp, M;Yesil, H. 2009. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of plywood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*no.29:589-592.
- Sernek, M;Dunky, M. 2010. Wood-Based Panels An Introduction for Specialists: Adhesive Bond Strength Development (en línea). Consultado 24 oct. 2014. Disponible en [http://www.ahb.bfh.ch/NR/rdonlyres/6388C45C-8399-47AA-A833-589576D903BA/0/WoodBased\\_PanelsThoemen\\_et\\_alISBN9781902316826.pdf](http://www.ahb.bfh.ch/NR/rdonlyres/6388C45C-8399-47AA-A833-589576D903BA/0/WoodBased_PanelsThoemen_et_alISBN9781902316826.pdf)
- Shukla, S; kamdem, D. 2012. Effect of copper based preservatives treatment of the properties of southern pine LVL. *Construction and Building Materials*no.34:593-601.
- Stoeckel, F;Konnerth, J; Wolfgang, G; Gindl-Altmutter, W. 2013. Mechanical properties of adhesives for bonding wood- A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*no.45:32-41.
- Singh, A; Causin, V; Nuryawan, A; Park, B. 2014. Morphological, chemical and crystalline features of urea–formaldehyde resin cured in contact with wood. Elsevier. *EuropeanPolymerJournal*no.56:185-193.
- Tecnoforest1982. Feria Internacional del Pacífico. Lima, PE, s.e. 276 p.

- Titto, A. 2007. Aptitud de la yuca (*Manihot asculenta Granz*) de la Region San Martin como extendedor en la formulación de tableros contrachapados. TesisIng.Forestal. Lima, PE, UNALM. 54 p.
- Wellons, J.D. 1988. Approaches to high. Moisture glung. Plywood & Panel World - June - July. 27 p.
- Wen-Yu, S; Subyakto; Hata, T; Nishimiya, K; Imamura, Y; Ishihara. 1998. Improvement of fire retardancy of plywood by incorporating boron or phosphate compounds in the glue (en línea). The Japan Wood Reserch Society. Consultado 07 jul. 2014. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00526258#>
- Van Acker, J; Stevens, M. 1996. Workshop on mechanical properties of panel products: The influence of wood preservative treatments on the mechanical strength of plywood (en línea). Consultado 17 oct. 2014. Disponible en [bookshop.europa.eu/de/cost-action-508.../CGNA16845ENC\\_001.pdf](http://bookshop.europa.eu/de/cost-action-508.../CGNA16845ENC_001.pdf)
- Vignote, S; Martinez, I. 2006. Tecnología de la Madera. 3 ed. Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa. 674p.
- Zavala, D. 1991. Propiedades tecnológicas de la Madera que influyen en las características de la chapa y en la calidad del triplay. Ciencia Forestal en Mexico 16(69):77 – 92.
- \_\_\_\_\_. 1994. Análisis de los factores que intervienen en el proceso de prensado del triplay. Ciencia Forestal en Mexico 19(76):103-131.
- \_\_\_\_\_; Hernández, Y. 2002. Aprovechamiento de cortas dimensiones para aumentar la producción de triplay. Maderas: Ciencia y Tecnología 4(2):111 – 123.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### VISCOSIDAD Y PH PARA LA FORMULACIÓN DE LA COLA SIN PRESERVANTE

| <i>TIEMPO (min)</i> | <i>VISCOCIDAD (cps)</i> | <i>pH</i> |
|---------------------|-------------------------|-----------|
| 0                   | 1350                    | 6,0       |
| 10                  | 1430                    | 5,3       |
| 20                  | 1620                    | 5,2       |
| 30                  | 1650                    | 5,1       |
| 40                  | 1680                    | 4,9       |
| 50                  | 1720                    | 4,7       |
| 60                  | 1780                    | 4,7       |
| 70                  | 1880                    | 4,7       |
| 80                  | 2020                    | 4,7       |
| 90                  | 2060                    | 4,7       |
| 100                 | 2440                    | 4,6       |
| 110                 | 2880                    | 4,6       |
| 120                 | 2960                    | 4,6       |

## ANEXO 2

### VISCOSIDAD Y PH DE LA FORMULACIÓN DE LA COLA CON 1% DE PRESERVANTE

| <i>TIEMPO (min)</i> | <i>VISCOCIDAD (cps)</i> | <i>pH</i> |
|---------------------|-------------------------|-----------|
| 0                   | 1380                    | 6,2       |
| 10                  | 1420                    | 5,5       |
| 20                  | 1480                    | 5,2       |
| 30                  | 1530                    | 4,9       |
| 40                  | 1590                    | 4,8       |
| 50                  | 1680                    | 4,8       |
| 60                  | 1720                    | 4,8       |
| 70                  | 2030                    | 4,6       |
| 80                  | 2070                    | 4,6       |
| 90                  | 2420                    | 4,5       |
| 100                 | 2460                    | 4,5       |
| 110                 | 2540                    | 4,5       |
| 120                 | 2690                    | 4,4       |

### ANEXO 3

#### VISCOSIDAD Y PH DE LA FORMUACIÓN DE LA COLA CON 2 % DE PRESERVANTE

| <i>TIEMPO (min)</i> | <i>VISCOCIDAD (cps)</i> | <i>pH</i> |
|---------------------|-------------------------|-----------|
| 0                   | 1460                    | 6,0       |
| 10                  | 1500                    | 5,4       |
| 20                  | 1500                    | 5,4       |
| 30                  | 1560                    | 4,9       |
| 40                  | 1560                    | 4,9       |
| 50                  | 1880                    | 4,9       |
| 60                  | 2010                    | 4,9       |
| 70                  | 2080                    | 4,8       |
| 80                  | 2100                    | 4,8       |
| 90                  | 2200                    | 4,7       |
| 100                 | 2240                    | 4,6       |
| 110                 | 2300                    | 4,6       |
| 120                 | 2800                    | 4,5       |

#### ANEXO 4

#### VISCOSIDAD Y PH DE LA FORMULACIÓN DE LA COLA CON 3 % DE PRESERVANTE

| <i>TIEMPO (min)</i> | <i>VISCOCIDAD (cps)</i> | <i>pH</i> |
|---------------------|-------------------------|-----------|
| 0                   | 1600                    | 5,6       |
| 10                  | 1620                    | 5,1       |
| 20                  | 1720                    | 5,0       |
| 30                  | 1780                    | 4,6       |
| 40                  | 1910                    | 4,6       |
| 50                  | 1990                    | 4,6       |
| 60                  | 2020                    | 4,5       |
| 70                  | 2080                    | 4,5       |
| 80                  | 2080                    | 4,5       |
| 90                  | 2110                    | 4,4       |
| 100                 | 2230                    | 4,4       |
| 110                 | 2400                    | 4,4       |
| 120                 | 2720                    | 4,4       |

## ANEXO 5

### ANVA DEL PRESERVANTE SOBRE EL PH EN TABLEROS CONTRACHAPADOS DE SAPOTE

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha = 0,05$

#### Paso 3

Prueba estadística

##### ANOVA unidireccional: Viscosidad vs. tratamientos

| Fuente | GL | SC      | CM     | F    | P     |
|--------|----|---------|--------|------|-------|
| trat_2 | 3  | 70267   | 23422  | 0,13 | 0,945 |
| Error  | 48 | 8954631 | 186555 |      |       |
| Total  | 51 | 9024898 |        |      |       |

S = 431,9    R-cuad. = 0,78%    R-cuad.(ajustado) = 0,00%

ICs de 95% individuales para la media

basados en Desv.Est. agrupada

| Nivel | N  | Media  | Desv.Est. |                            |
|-------|----|--------|-----------|----------------------------|
| 0,00% | 13 | 1959,2 | 510,7     | (-----+-----*-----+-----+) |
| 1,00% | 13 | 1923,8 | 469,7     | (-----+-----*-----+-----+) |
| 2,00% | 13 | 1937,7 | 406,9     | (-----+-----*-----+-----+) |
| 3,00% | 13 | 2020,0 | 315,0     | (-----+-----*-----+-----+) |

1800            1950            2100            2250

Desv.Est. agrupada = 431,9

#### Paso 4

Regla de decisión

¿P valor = 0,945 < 0,05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza Ho

## ANEXO 6

### ANVA DEL PRESERVANTE SOBRE LA VISCOSIDAD EN TABLEROS CONTRACHAPADOS DE SAPOTE

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_o : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha=0,05$

#### Paso 3

Prueba estadística

##### ANOVA unidireccional: ph\_1 vs. trat\_1

| Fuente | GL | SC    | CM    | F    | P     |
|--------|----|-------|-------|------|-------|
| trat_1 | 3  | 0,650 | 0,217 | 1,20 | 0,320 |
| Error  | 48 | 8,660 | 0,180 |      |       |
| Total  | 51 | 9,310 |       |      |       |

S = 0,4248 R-cuad. = 6,98% R-cuad. (ajustado) = 1,17%

ICs de 95% individuales para la media  
basados en Desv.Est. agrupada

| Nivel | N  | Media  | Desv.Est. |               |
|-------|----|--------|-----------|---------------|
| 0,00% | 13 | 4,9077 | 0,4051    | (-----*-----) |
| 1,00% | 13 | 4,8692 | 0,5056    | (-----*-----) |
| 2,00% | 13 | 4,9538 | 0,4156    | (-----*-----) |
| 3,00% | 13 | 4,6615 | 0,3595    | (-----*-----) |

-----+-----+-----+-----+  
4,60      4,80      5,00      5,20

Desv.Est. agrupada = 0,4248

#### Paso 4

Regla de decisión

¿P valor = 0,320 < 0,05? → Falso, Por lo tanto no se rechaza  $H_o$

## ANEXO 7

### VALORES DE LOS ENSAYOS FÍSICOS EN TABLEROS PREPARADOS CON PRESERVANTE Y SIN PRESERVANTE EN LA LÍNEA DE COLA

| <i>RESP</i> | <i>CONCENTRACION DEL PRESERVANTE (FACTOR)</i> |
|-------------|---|
| 5           | 0%  |
| 7           | 0%  |
| 5           | 0%  |
| 6           | 0%  |
| 6           | 0%  |
| 4           | 1%  |
| 7           | 1%  |
| 7           | 1%  |
| 6           | 1%  |
| 6           | 1%  |
| 4           | 2%  |
| 5           | 2%  |
| 6           | 2%  |
| 7           | 2%  |
| 7           | 2%  |
| 3           | 3%  |
| 4           | 3%  |
| 3           | 3%  |
| 5           | 3%  |
| 5           | 3%  |

## ANEXO 8

### PRUEBA NO PARAMETRICA KRUSKAL – WALLIS SOBRE EL ENSAYO FÍSICO PARA TABLEROS CONTRACHAPADOS DE SAPOTE

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$$

$$H_1 : \text{Al menos un } \mu_i \neq \mu, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

#### Paso 3

##### PRUEBA ESTADISTICA-NO PARAMETRICA

Prueba de Kruskal-Wallis en RESP

| FACT    | N  | Mediana | Clasificación<br>del promedio | Z     |
|---------|----|---------|-------------------------------|-------|
| 0,00    | 5  | 6,100   | 12,4                          | 0,83  |
| 0,01    | 5  | 6,410   | 13,8                          | 1,44  |
| 0,02    | 5  | 6,990   | 12,4                          | 0,83  |
| 0,03    | 5  | 3,900   | 3,4                           | -3,10 |
| General | 20 |         | 10,5                          |       |

$$H = 9,79 \quad GL = 3 \quad P = 0,020$$

#### Paso 4

Regla de decisión

¿P valor = 0,020 < 0,05? → Verdadero, Por lo tanto Se rechaza  $H_0$

## ANEXO 9

### ESCALA DE CALIDAD DE LIGADURAS DE ACUERDO A LA NORMA INDECOPI 251.042: 1979

| <i>Calidad</i> | <i>Porcentaje de Adherencia<br/>Fibras de Madera (%)</i> |
|----------------|--|
| 0              | 0 - 10   |
| 2              | 20 - 30  |
| 4              | 40 - 50  |
| 6              | 60 - 70  |
| 8              | 80 - 90  |
| 10             | 90 - 100   |

## ANEXO 10

### PRUEBA DE DUNCAN PARA TABLEROS PREPARADOS CON PRESERVANTE Y SIN PRESERVANTE EN LA LÍNEA DE COLA

#### Paso 1

##### 1.- Definición de hipótesis

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j, i=0,1,2,3$$

#### Paso 2

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

#### Paso 3

#### PRUEBA ESTADÍSTICA

#### COMPARACIONES MÚLTIPLES –PRUEBA DE DUNCAN

| i | TRATAMIENTOS         | $\bar{y}_i$ |
|---|----------------------|-------------|
| 0 | Sin preservante (0%) | 8,53        |
| 1 | Con preservante (1%) | 9,82        |
| 2 | Con preservante (2%) | 12,74       |
| 3 | Con preservante (3%) | 14,31       |

Ordenando los promedios:

$$\bar{y}_3 = 14.31, \bar{y}_2 = 12.74, \bar{y}_1 = 9.82, \bar{y}_0 = 8.53$$

#### DATOS

$$CMe = 3,189$$

$$q_2 = q(0,05; 2, 35) = 2,86$$

$$q_3 = q(0,05; 3, 35) = 3,01$$

$$q_4 = q(0,05; 4, 35) = 3,10$$

Amplitudes estudentizadas significativas para prueba de Duncan

| Yh | Yj | (Yh-Yj) | Duncan | Efecto |
|----|----|---------|--------|--------|
| Y3 | Y0 | 5,78    | 2,4757 | *      |
| Y3 | Y1 | 4,49    | 2,4697 | *      |
| Y3 | Y2 | 1,57    | 2,2841 |        |
| Y2 | Y0 | 4,21    | 2,4039 | *      |
| Y2 | Y1 | 2,92    | 2,3467 | *      |
| Y1 | Y0 | 1,29    | 2,3467 |        |

$$* 2.86 \sqrt{3.189 \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{9} \right)} = 2.4757, \text{ Si } |\bar{y}_3 - \bar{y}_0| = 5.78 < 2.4757 \quad *$$

## ANEXO 11

### VALORES DE LA TRACCIÓN PARALELA PARA TABLEROS PREPARADOS SIN PRESERVANTE EN LA LÍNEA DE COLA

| <i>Numero de muestra</i> | <i>Tableros</i> |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|                          | <b>1</b>        | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| 1                        | 9,675           | 9,890    | 11,462   | 10,581   | 9,621    |
| 2                        | 6,796           | 8,606    | 9,682    | 7,689    | 8,825    |
| 3                        | 8,782           | 7,356    | 10,224   | 8,921    | 7,351    |
| 4                        | 5,165           | 8,272    | 8,685    | 8,674    | 8,526    |
| 5                        | 8,354           | 7,185    | 6,128    | 7,125    | 8,456    |
| 6                        | 10,209          | 8,729    | 7,226    | 6,645    | 6,748    |
| 7                        | 7,954           | 10,435   | 6,522    | 8,821    | 8,213    |
| 8                        | 9,146           | 9,578    | 7,911    | 7,124    | 8,026    |
| 9                        | 8,429           | 9,205    | 6,978    | 8,251    | 8,241    |
| 10                       | 9,571           | 8,367    | 10,511   | 6,949    | 9,245    |

|                            |             |             |            |            |            |             |
|----------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| <i>Desviación estandar</i> | 1,498556524 | 1,044495205 | 1,85698725 | 1,21154759 | 0,84183553 |             |
| <i>Promedio</i>            | 8,41        | 8,76        | 8,53       | 8,08       | 8,33       | <b>8,42</b> |

## ANEXO 12

### VALORES DE LA TRACCIÓN PARALELA PARA TABLEROS PREPARADOS CON PRESERVANTE AL 1 % EN LA LINEA DE COLA

| <i>Numero de muestra</i> | <i>Tableros</i> |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|                          | <b>1</b>        | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
| 1                        | 10,295          | 13,699   | 11,298   | 10,966   | 8,978    |
| 2                        | 11,491          | 10,435   | 9,174    | 7,417    | 11,495   |
| 3                        | 12,661          | 12,617   | 10,311   | 9,636    | 10,357   |
| 4                        | 12,215          | 9,378    | 7,784    | 7,126    | 7,159    |
| 5                        | 9,329           | 13,396   | 12,208   | 6,478    | 6,692    |
| 6                        | 11,200          | 9,792    | 6,277    | 8,395    | 8,195    |
| 7                        | 7,740           | 13,628   | 7,314    | 6,791    | 10,805   |
| 8                        | 12,280          | 12,162   | 10,196   | 9,302    | 6,464    |
| 9                        | 12,120          | 13,385   | 8,466    | 7,475    | 7,486    |
| 10                       | 9,020           | 12,911   | 9,503    | 8,692    | 8,102    |

|                            |       |       |      |      |      |               |
|----------------------------|-------|-------|------|------|------|---------------|
| <b>desviación estandar</b> | 1,67  | 1,65  | 1,84 | 1,43 | 1,78 |               |
| <b>Promedio</b>            | 10,84 | 12,14 | 9,25 | 8,23 | 8,57 | <b>9,8059</b> |

### ANEXO 13

#### VALORES DE LA TRACCIÓN PARALELA PARA TABLEROS PREPARADOS CON PRESERVANTE AL 2 % EN LA LINEA DE COLA

| <i>Numero de muestra</i> | <i>Tableros</i> |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|                          | <i>1</i>        | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> |
| 1                        | 11,83           | 12,50    | 13,98    | 15,80    | 12,49    |
| 2                        | 12,94           | 10,33    | 16,65    | 13,63    | 12,73    |
| 3                        | 11,74           | 10,73    | 14,12    | 11,73    | 12,75    |
| 4                        | 9,18            | 9,91     | 15,09    | 11,95    | 13,96    |
| 5                        | 10,03           | 11,20    | 14,95    | 13,79    | 15,56    |
| 6                        | 12,37           | 12,38    | 15,77    | 14,94    | 12,36    |
| 7                        | 9,98            | 9,12     | 13,37    | 12,35    | 13,55    |
| 8                        | 10,75           | 10,33    | 12,76    | 12,08    | 17,51    |
| 9                        | 12,31           | 10,99    | 15,63    | 9,67     | 15,92    |
| 10                       | 14,96           | 11,79    | 12,48    | 12,01    | 12,31    |

|                            |       |       |       |       |       |         |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| <i>desviación estandar</i> | 1,70  | 1,08  | 1,37  | 1,77  | 1,81  |         |
| <i>Promedio</i>            | 11,61 | 10,93 | 14,48 | 12,79 | 13,91 | 12,7437 |

## ANEXO 14

### VALORES DE LA TRACCIÓN PARALELA PARA TABLEROS PREPARADOS CON PRESERVANTE AL 3 % EN LA LINEA DE COLA

| <i>Numero de muestra</i> | <i>Tableros</i> |          |          |          |          |
|--------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
|                          | <i>1</i>        | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> |
| 1                        | 15,1660         | 15,7450  | 12,8410  | 11,4450  | 13,8450  |
| 2                        | 14,4780         | 14,7140  | 11,1660  | 14,3950  | 15,6840  |
| 3                        | 17,8540         | 13,9860  | 15,7830  | 12,7450  | 13,9210  |
| 4                        | 16,8220         | 15,8050  | 12,4690  | 11,9230  | 17,7320  |
| 5                        | 15,9640         | 12,7970  | 13,7910  | 14,1330  | 15,4550  |
| 6                        | 17,5250         | 15,9330  | 11,0640  | 16,7880  | 14,8220  |
| 7                        | 16,7740         | 15,0310  | 10,6110  | 10,9580  | 13,1660  |
| 8                        | 14,3780         | 14,7990  | 14,1240  | 15,7140  | 14,2530  |
| 9                        | 15,9680         | 15,8210  | 10,0920  | 12,3650  | 13,3500  |
| 10                       | 16,0120         | 14,4660  | 12,1000  | 13,0990  | 15,7720  |

|                            |             |             |            |            |            |                |
|----------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|----------------|
| <i>desviación estandar</i> | 1,182959608 | 0,997539089 | 1,77875915 | 1,88264886 | 1,39478011 |                |
| <i>Promedio</i>            | 16,0941     | 14,9097     | 12,4041    | 13,3565    | 14,8000    | <b>14,3129</b> |