

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Aptitud del Bambú *Guadua angustifolia*  
Kunth en la elaboración de tableros de  
partículas de densidad media**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**Jorge Antonio Galdos Vandervelde**

Lima – Perú  
2007

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **JORGE ANTONIO GALDOS VANDERVELDE**, intitulado “Aptitud del Bambú *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros de partículas de densidad media”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 16 de Noviembre de 2007

.....  
Ing. Florencio Trujillo Cuellar  
Presidente

.....  
Ing. Julio Canchucaya Rojas  
Miembro

.....  
Ing. Miguel Meléndez Cárdenas  
Miembro

.....  
Ing. Leonidas Miguel Castro  
Patrocinador

.....  
Ing. Moisés Acevedo Mallque  
Copatrocinador

## *RESUMEN*

Las cañas de bambú de la especie *Guadua angustifolia*, provenientes del departamento de Cajamarca ubicado en la localidad de la Florida; Constituyeron la materia prima para la elaboración de tableros aglomerados de partículas de densidad media, homogéneos y de tres capas con densidades teóricas: de 0,68 gr/cm<sup>3</sup> y niveles de resinosidad 10%, utilizando como catalizador cloruro de amonio en una proporción del 25% en concentración, el contenido de humedad del colchón fue de 12% aproximadamente y un tiempo de prensado de 12 minutos. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los tableros conforme a lo establecido en la norma DIN. Las propiedades físicas evaluadas fueron contenidos de humedad, densidad, absorción de agua y variación de espesor a las 2 y 24 horas de inmersión en agua; las propiedades mecánicas evaluadas fueron la resistencia a la flexión (1 modulo de ruptura), y la tracción perpendicular a la superficie del tablero. Los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas evaluadas no cumplen con los valores establecidos en la norma DIN para tableros de 15 mm de espesor a excepción de la absorción de agua e hinchamiento para densidad de 0,68 gr/cm<sup>3</sup> y 10% de resinosidad. Se observó que las propiedades físicas y mecánicas de los tableros aglomerados elaborados con partículas de Bambú mejoran al aumentar la densidad así como en la mayoría de los casos al aumentar la resinosidad. Los tableros que se obtuvieron eran compactos, de buena apariencia y lisura por lo cual es factible la utilización de partículas de Bambú en la elaboración de tableros aglomerados homogéneos y de tres capas, pudiendo destinarse a usos generales, lo cual abre la posibilidad del establecimiento de fábricas, que utilicen esta materia prima que actualmente no tiene una demanda industrial, por lo cual su disponibilidad y bajo costo es atractivo para su utilización.

# ÍNDICE

	Página
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE.....	3
2.1.1 <i>Clasificación Taxonómica.....</i>	3
2.1.2 <i>Distribución geográfica.....</i>	5
2.2 OTRAS MATERIAS PRIMAS .....	6
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES DEL TABLERO DE PARTÍCULAS.....	6
2.3.1 <i>La especie y su densidad.....</i>	6
2.3.2 <i>Geometría de las partículas.....</i>	8
2.3.3 <i>Efectos de la composición química en el encolado y fraguado .....</i>	9
2.3.4 <i>Adhesivo y Encolado .....</i>	10
2.4 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS.....	11
2.4.1 <i>Resistencia a la flexión.....</i>	11
2.4.2 <i>Resistencia a la tracción.....</i>	12
2.4.3 <i>Estabilidad dimensional .....</i>	13
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
3.1 LUGAR DE ESTUDIO .....	14
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....	14
3.2.1 <i>Especie.....</i>	14
3.2.2 <i>Materiales.....</i>	14
3.2.3 <i>Equipos e Instrumentos.....</i>	15
3.3 METODOLOGÍA .....	16
3.3.1 <i>Características de los tableros.....</i>	16
3.3.2 <i>Balance de insumos y materiales.....</i>	17
3.3.3 <i>Obtención de partículas.....</i>	19
3.3.4 <i>Tamizado.....</i>	19
3.3.5 <i>Secado.....</i>	21
3.3.6 <i>Formulación de la cola.....</i>	21
3.3.7 <i>Fabricación del tablero.....</i>	21
3.3.8 <i>Evaluación de los tableros.....</i>	24
3.3.9 <i>Diseño estadístico .....</i>	27
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.....	28
4.1.1 <i>Coefficiente de esbeltez.....</i>	28
4.1.2 <i>Densidad.....</i>	29
4.1.3 <i>Determinación del pH.....</i>	29
4.2 ENSAYO FÍSICO.....	29
4.2.1 <i>Densidad de los tableros.....</i>	29
4.2.2 <i>Contenido de humedad de los tableros.....</i>	31
4.2.3 <i>Absorción de agua.....</i>	32

4.2.4	<i>Hinchamiento</i> .....	34
4.3	ENSAYO MECÁNICO .....	38
4.3.1	<i>Modulo de rotura en flexión estática</i> .....	38
4.3.2	<i>Tracción perpendicular</i> .....	40
4.4	COMPARACIÓN DE TABLEROS HOMOGÉNEOS Y DE TRES CAPAS .....	42
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>44</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>45</b>
	<b>ANEXO 1</b> .....	<b>48</b>
	COEFICIENTE DE ESBELTEZ PARA PARTÍCULAS DE CAPA EXTERNA .....	48
	<b>ANEXO 2</b> .....	<b>49</b>
	COEFICIENTE DE ESBELTEZ PARA PARTÍCULAS DE CAPA MEDIA .....	49
	<b>ANEXO 3</b> .....	<b>50</b>
	DENSIDAD DE LAS PROBETAS DE LOS TABLEROS HOMOGÉNEOS .....	50
	<b>ANEXO 4</b> .....	<b>51</b>
	DENSIDAD DE LAS PROBETAS DE LOS TABLEROS DE TRES CAPAS .....	51
	<b>ANEXO 5</b> .....	<b>52</b>
	ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN A LAS DOS HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ.....	52
	<b>ANEXO 6</b> .....	<b>53</b>
	PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ABSORCIÓN A LAS 2 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	53
	<b>ANEXO 7</b> .....	<b>54</b>
	ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN A LAS 24 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ.....	54
	<b>ANEXO 8</b> .....	<b>55</b>
	PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ABSORCIÓN A LAS 24 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	55
	<b>ANEXO 9</b> .....	<b>56</b>
	ANÁLISIS DE VARIANZA DE HINCHAMIENTO A LAS 2 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ.....	56
	<b>ANEXO 10</b> .....	<b>57</b>
	PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE HINCHAMIENTO A LAS 2 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	57
	<b>ANEXO 11</b> .....	<b>58</b>
	ANÁLISIS DE VARIANZA DE HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ.....	58
	<b>ANEXO 12</b> .....	<b>59</b>
	PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ.....	59
	<b>ANEXO 13</b> .....	<b>60</b>

ANÁLISIS DE VARIANZA DE DENSIDAD, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	60
<b>ANEXO 14</b> .....	<b>61</b>
PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DENSIDAD PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	61
<b>ANEXO 15</b> .....	<b>62</b>
ANÁLISIS DE VARIANZA DE TRACCIÓN PERPENDICULAR, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	62
<b>ANEXO 16</b> .....	<b>63</b>
PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	63
<b>ANEXO 17</b> .....	<b>64</b>
ANÁLISIS DE VARIANZA DE FLEXIÓN ESTÁTICA, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ ....	64
<b>ANEXO 18</b> .....	<b>65</b>
PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ .....	65
<b>ANEXO 19</b> .....	<b>66</b>
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS .....	66
<b>ANEXO 20</b> .....	<b>67</b>
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DENSIDAD DE TABLEROS HOMOGÉNEOS .....	67
<b>ANEXO 21</b> .....	<b>68</b>
RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DENSIDAD DE TABLEROS ESTRATIFICADOS .....	68
<b>ANEXO 22</b> .....	<b>69</b>
CÁLCULO DE INSUMOS NECESARIOS PARA TABLEROS ESTRATIFICADOS .....	69

## *Lista de cuadros*

	Página
<b>CUADRO 1</b>	<b>CANTIDAD DE INSUMOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN 1 TABLERO HOMOGÉNEO. ....17</b>
<b>CUADRO 2</b>	<b>CANTIDAD DE INSUMOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA CAPA EXTERNA DE LOS TABLEROS DE 3 CAPAS. ....17</b>
<b>CUADRO 3</b>	<b>CANTIDAD DE INSUMOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA CAPA MEDIA DE LOS TABLEROS DE 3 CAPAS. ....18</b>
<b>CUADRO 4</b>	<b>NORMAS DIN UTILIZADAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS-MECÁNICOS .....24</b>
<b>CUADRO 5</b>	<b>CUADRO 5: DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS USADAS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS-MECÁNICOS.....24</b>
<b>CUADRO 6</b>	<b>COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LAS PARTÍCULAS PARA LA CAPA EXTERNA E INTERNA.....28</b>
<b>CUADRO 7</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD CALCULADA. ....30</b>
<b>CUADRO 8</b>	<b>VALORES PROMEDIOS DEL PESO, VOLUMEN Y DENSIDAD DE LOS TABLEROS.....31</b>
<b>CUADRO 9</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DEL CH(%) CALCULADO DE LOS TABLEROS. ....32</b>
<b>CUADRO 10</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DE LA ABSORCIÓN CALCULADA A LAS 2 HORAS. ....33</b>
<b>CUADRO 11</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DE LA ABSORCIÓN CALCULADA A LAS 24 HORAS.....34</b>
<b>CUADRO 12</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DEL HINCHAMIENTO DE TABLEROS CALCULADO A LAS 2 HORAS. ....35</b>
<b>CUADRO 13</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DEL HINCHAMIENTO DE TABLEROS CALCULADA A LAS 24 HORAS .....36</b>
<b>CUADRO 14</b>	<b>COMPARACIÓN HINCHAMIENTO VS ABSORCIÓN ENTRE TABLERO HOMOGÉNEOS Y DE TRES CAPAS.....37</b>
<b>CUADRO 15</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS TABLEROS.....39</b>
<b>CUADRO 16</b>	<b>VALORES PROMEDIOS Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LOS TABLEROS.....41</b>
<b>CUADRO 17</b>	<b>VALORES PROMEDIOS DE TABLEROS HOMOGÉNEOS Y DE TRES CAPAS. ....42</b>

## *Lista de figuras*

	Página
<b>FIGURA 1 LA FLORIDA PROVINCIA SAN MIGUEL DEPARTAMENTO CAJAMARCA PLANTACIONES DE BAMBÚ.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 2 MOLINO DE ASPAS.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 3 MALLAS UTILIZADAS EN EL MOLINO DE ASPAS.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA 4 PRENSA DE PLATOS CALIENTES HORNA MACCHINE .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 5 TABLERO FINAL DESPUÉS DEL PRENSADO .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 6 ENSAYO DE FLEXIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 7 ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR.....</b>	<b>26</b>

## ***1. INTRODUCCIÓN***

La producción de tableros de partículas en el mundo ha demostrado un crecimiento entre los años 1998 y 2002 de más del 3%. En el año 2002 la producción mundial fue de 182.1 millones de m<sup>3</sup>, siendo el principal productor Estados Unidos con 40.6 millones de m<sup>3</sup> seguido de China con 19.5 millones de m<sup>3</sup> destacan también Canadá, Alemania, Indonesia, Brasil y Francia<sup>1</sup>.

En el Perú, este mercado constituye un fuerte atractivo, ya que a pesar de tener una fuente importante de recursos como son los bosques tropicales, para este producto existe aún muy poca información sobre la optimización de este recurso. La industria de tableros de partículas no ha tenido mayor desarrollo en nuestro país debido principalmente a la falta de investigación en los diferentes factores que intervienen en el proceso productivo; destacando entre estos la investigación de materia prima alternativa a la madera.

Las formaciones naturales de bambú en Perú, están conformadas por una variedad de especies con un alto grado de endemismo, que tradicionalmente han sido consideradas como una plaga, existiendo un nivel de aprovechamiento marginal en relación a su potencial productivo. Una de sus ventajas es que se trata del vegetal con mayor tasa de crecimiento en el mundo, ya que desarrolla todo su potencial en diámetro y altura definitiva en un periodo que puede durar de tres a cinco meses, a diferencia de los árboles, que van generando anillos de crecimiento e incrementando su diámetro anualmente. Esta característica convierte al bambú en una especie de alta sustentabilidad, debido a que si se maneja bien se pueden obtener retornos anuales con su cosecha. (Con la finalidad de transformar estas formaciones en un recurso económico y ambiental, se ha iniciado este proyecto el cual busca un Desarrollo Integral de la Utilización Industrial de Bambú zaceas Autóctonas). El mercado mundial de los productos derivados del bambú alcanza la no despreciable cifra de US \$ 7.000 millones y esperamos formar parte de ese mercado en un futuro no muy lejano.

---

<sup>1</sup> Información obtenida del Depósito de Información Estadística de la FAO

El presente trabajo de investigación analiza la utilización del bambú en la elaboración de tablero de partículas de densidad media, de tres capas y homogéneos.

El presente trabajo de investigación va a contribuir significativamente en la valorización del bosque nativo de bambú, presentando nuevas alternativas de producción sustentable modificando la visión cultural sobre un recurso de alto potencial socioeconómico y ambiental que tradicionalmente ha sido percibido como una plaga.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE

#### 2.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

(Londoño, X 1998) ubica a la caña Guayaquil taxonómicamente en:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Subfamilia: Bambusoideae

Género: Guadua

Especie: *Guadua angustifolia* Kunth.

Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo y se distinguen del resto de ellas por tener (1) el hábito perenne, (2) los rizomas bien desarrollados, (3) los culmos casi siempre lignificados y fuertes, (4) las hojas pecioladas, (5) el embrión pequeño en comparación con el endospermo, (6) presencia de 3 lodículas en el antecio, (7) las plántulas con la primera lámina ancha y en posición horizontal, (8) el mesófilo no radiado con células fusoides y células armadas, (9) los haces vasculares usualmente en cantidades mayores de uno y superpuestos en la nervadura central, y (10) los cuerpos silíceos verticalmente orientados. (Soderstrom & Ellis, 1987)

Taxonómicamente los bambúes se han dividido en dos grandes tribus: 1- los herbáceos o de la tribu Olyrodeae y 2- los leñosos o de la tribu Bambuseae, los herbáceos son solo una tribu los bambúes leñosos o de la tribu Bambuseae se dividen en 9 sub tribus, 3 endémicas de América (Arthrostylidiinae, Chusqueinae y Guaduinae) 5 del viejo mundo (Bambusinae, Nastinae, Melocanninae, Acemobambosinae y Shibataeinae) y una común para ambos continentes (Arundinariinae). (Francisco Castaño, 2004)

Según (Hernán Cáceres, 1988) las características químicas de especie *Guadua*

*Angustifolia* Kunth están determinadas en el siguiente esquema:

La densidad de la especie es 0.62 gr/cm<sup>3</sup>

Contenido de lignina	26.1 %
Contenido de celulosa	44.3 %
Longitud de la fibra	1.7 mm
Ancho de la fibra	14 micras
Ancho del lumen	9 micras
Espesor de la pared	2.5micras
Coefficiente de esbeltez	117
Índice de flexibilidad	0.65

### 2.1.2 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Los bambúes son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia y América.

En el mundo existe un total de 89 (-90) géneros y 1035 especies, que se distribuyen desde los 46º de latitud Norte hasta los 47º de latitud Sur y desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altura en los Andes ecuatoriales en la formación conocida como Páramo. Los bambúes prefieren los hábitats húmedos de las selvas nubladas y selvas bajas tropicales. En América existen 45 (-46) géneros y 515 especies a lo largo y ancho de Centro y Sudamérica, en las Islas del Caribe, hasta el sur de Chile, y desde el nivel del mar hasta alturas de 4000 mts en los páramos. (Londoño, X 1998)

Los bambúes al igual que la caña de azúcar, el arroz y el trigo, son gramíneas que pertenecen a la familia Poaceae, son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes, que crecen en todos los continentes y se encuentran distribuidas en regiones tropicales y templadas de Asia, África y América. (Francisco Castaño, 2004)

En el mundo existe un total de 90 géneros y 1100 especies de bambúes, que se distribuyen latitudinalmente desde el norte de Japón (51°N) hasta el sur de Chile (47°S) y altitudinalmente desde el nivel del mar hasta los 4300 metros de altura. (Francisco Castaño, 2004)

El mayor número de especies de bambúes se encuentran en la región del pacífico Asiático, en donde los géneros más comunes son Bambusa, Dendrocalamus, Fargesia y Phyllostachys. En América tropical existe casi la mitad de la diversidad mundial de bambúes con un total de 41 géneros y 451 especies. (Judziewicz, E. Et al, 1999)

## **2.2 OTRAS MATERIAS PRIMAS**

En cuanto a la incorporación de los residuos de aserraderos en tableros de partículas solo se utilizan, cantoneras y materiales de despunte .el aserrín y virutas de cepillado no son utilizadas por ser muy pequeñas sin embargo estos pequeños residuos pueden ser utilizados satisfactoriamente. (Poblete, 1979)

Este material de tan pequeñas dimensiones presenta el inconveniente de que normalmente, exige un mayor consumo de adhesivo. (Ginzel y Peraza 1966)

Los países industrializados han desarrollado técnicas para aprovechar materias primas con otras características de forma y tamaño, lo cual ha permitido la utilización de residuos provenientes de otras industrias. (Poblete, 1979)

Una de las técnicas de procesamiento lo constituyen la fabricación de tableros de partículas que usan tradicionalmente como materia prima virutas de madera , las cuales se caracterizan por tener una determinada relación de longitud y espesor, llamada coeficiente de esbeltez. (Kollman, 1984)

## **2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES DEL TABLERO DE PARTÍCULAS**

### **2.3.1 LA ESPECIE Y SU DENSIDAD**

Maloney (1977) indica que entre todas las variables presentes en el proceso de elaboración de tableros, la especie es una de las más significativas ya que interactúa con otras variables del proceso e influye en la gravedad específica del tablero, la formulación de la cola y la humedad del tablero.

La densidad de la madera afecta directamente, junto con la compactación del manto a la densidad final del tablero. Una variación en la densidad de la madera obliga a un ajuste en la compactación del manto si desea mantener constante la densidad final del tablero. Sin embargo, las características de los tableros producidos con diferentes densidades de madera y

grado de compactación serán distintas, aun cuando la densidad del tablero permanezca constante. (Kelly, 1977)

Asimismo, si se desea llegar a una determinada densidad final de tablero usando dos especies a diferente densidad, la especie de menor densidad deberá ser comprimida en una proporción mayor que la especie de mayor densidad; es decir el volumen de madera a incluir en un tablero de densidad dada es inversamente proporcional a la densidad de la especie, por este motivo al incluir especies de menor densidad, se requiere de una mayor compactación, obteniéndose un mayor contacto entre partículas con un mejoramiento en la eficiencia del adhesivo. (Poblete, 2001)

Moslemi, (1974) indica que la razón de compresión se debe calcular considerando la densidad de la madera comprimida y en este estado normal, eliminándose la participación del adhesivo. En la práctica resulta más fácil remplazar la densidad de la madera comprimida por la densidad del tablero.

Debido a que una mayor compresión permite un mejor contacto entre las partículas y una mayor eficiencia del adhesivo, sin importar la densidad de la especie empleada, la razón de compresión siempre debe ser mayor a uno. Cuando la razón de compresión es menor a 1, el tablero tiene una densidad menor a la de la madera utilizada y no habrá compactación del material. En general es recomendable lograr valores de RC entre 1,5 y 2,2.

Rc : Razón de compresión

Dt : Densidad del tablero (gr/cm<sup>3</sup>)

$$Rc = Dt / Dm$$

Dm : Densidad de la madera (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.3.2 GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

Es importante conocer la relación existente entre el tamaño de las partículas y las propiedades de las partículas ya que se puede cambiar las propiedades de los paneles con solo cambiar las características geométricas de las partículas, como su longitud y espesor.

Según Poblete (1979) una partícula de forma óptima corresponde a un elemento plano cortado paralelamente en la dirección de las fibras, cuya relación entre longitud y espesor afecta la buena transmisión de la resistencia de las partículas al tablero.

La geometría de las partículas determina la superficie específica del material que se debe recubrir con el adhesivo. La superficie específica depende fundamentalmente de la densidad de la madera y el espesor. (Ginzel y Peraza, 1966)

El coeficiente de esbeltez corresponde a la relación determinada por el largo y espesor de la partícula. Al relacionar las dimensiones de las partículas con la resistencia mecánica de los tableros se ha encontrado que el coeficiente de esbeltez es la medida que mejor se correlaciona con los cambios de estas propiedades, sobre todo en los casos de flexión y tracción perpendicular (poblete, 2001)

La influencia de un aumento en esta relación es positiva en el caso de flexión , es así como algunos autores, al variar el espesor y largo de la partícula , han determinado que las de mayor tamaño provoca un incremento en el modulo de rotura, mientras que al incluir partículas pequeñas en el centro desmejora esta propiedad. En cuanto ala resistencia a la tracción perpendicular del grano se comprobó que al disminuir el coeficiente de esbeltez, se producen mejoras en esta propiedad; este efecto es más marcado cuando la reducción se efectúa en el centro del tablero (Poblete, 2001)

La resistencia a la flexión puede ser mejorada al aumentar la longitud de las partículas (Ginzel y Peraza, 1966)

Mientras que un aumento del espesor de las partículas favorece la tracción y disminuye simultáneamente la flexión. (Poblete 1985)

### 2.3.3 EFECTOS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL ENCOLADO Y FRAGUADO

Otra variable referida a la especie es la acidez, medida como pH y capacidad de buferización. Mientras el pH mide el nivel específico de la acidez, la buferización cuantifica la capacidad de resistencia de la madera a cambiar su nivel pH. De esa manera una madera con alta capacidad de buferización requiere gran cantidad de catalizador para reducir el pH al nivel requerido para el óptimo curado de la resina. (Maloney, 1977)

Los extractivos de la madera determinan el valor del pH e influyen sobre el proceso de encolado. Este efecto se debe a que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos convencionales siguen su curso óptimo con un determinado rango del valor del pH. Para la urea formaldehído el valor fluctúa entre un pH de 3,0 y 3,5 (Poblete, 2001). De esta forma y dependiendo del tipo de adhesivo, la presencia de extraíbles que alteren el pH, puede retardar; acelera o simplemente inhibir el proceso del fraguado. (Poblete, 1978)

La mayoría de maderas utilizadas en la fabricación de tableros de partículas presentan valores de pH que fluctúan entre 2 y 5 (Poblete, 2001). El valor del pH de una especie está dado por la mayor o menor cantidad de ácidos que están presentes como compuestos o como compuestos accesorios. (Poblete y Peredo, 1991)

Poblete y Peredo (1991) estudian la aptitud de varias especies y concluyen que la teja *Laurelia philippiana* presenta un valor de pH desfavorable para la producción de tableros con adhesivos de fraguado ácido, urea formaldehído, provocando la neutralización del ambiente en que debe fraguar el adhesivo.

Kehr (1962) demostró que el tiempo de gelificación disminuye con el aumento de la cantidad de catalizador; determinando que una temperatura de 100°C los tiempos se reducen notoriamente al aumentar la acidez de la madera. Cuando la temperatura es menor a (20°C a 30°C), en un principio el tiempo de gelificación sufre una brusca caída con el incremento de catalizador, para luego aumentar el tiempo de gelificación con cantidades mayores de catalizador.

#### 2.3.4 ADHESIVO Y ENCOLADO

La cantidad de adhesivo a incluir en el tablero se puede expresar calculando el porcentaje de resina sólida en base a la cantidad de materia prima seca. Asimismo, el tamaño de las partículas juega un importante papel en el encolado ya que las más pequeñas captan cantidades mayores de adhesivo, por lo que la distribución no es homogénea. (Poblete, 2001)

La cantidad de adhesivo que se agrega a las partículas durante el encolado tiene un efecto importante en las propiedades del tablero, ya que al aumentar la cantidad de adhesivo se logra mejorar el recubrimiento de la superficie de las partículas, con lo que se mejora las propiedades físicas y mecánicas. Este aumento de las propiedades ocasiona un aumento en los costos de producción, siendo necesario realizar una estricta evaluación técnica antes de decidir cambios en esta variable. Por lo general debe mantenerse el principio de lograr una máxima eficiencia del adhesivo, a fin de obtener las mejores propiedades con las cantidades menores de resina. (Poblete, 2001)

La cantidad de resina empleada en producción de tableros puede variar, de acuerdo al tipo de producto, entre 4% y 15%; sin embargo, el porcentaje mayormente empleado se sitúa entre 6% y 9%; Asimismo la cantidad y tipo de resina empleada dependerá de diversos factores, sobre todo, de las propiedades que el tablero acabado debe presentar, el tipo y forma de las partículas que hay que aglomerar y de las condiciones que concurren en el prensado (Moslemi, 1974).

Al ser la madera un materia poroso, durante el encolado de las partículas se produce inicialmente una penetración del adhesivo en la madera, mientras éste permanece en estado líquido produciendo una zona de madera que quede impregnada por el adhesivo. En esta zona se reconocen los denominados “dedos de cola” que se forman luego de fraguar el adhesivo que ha penetrado por capilaridad. Con el fraguado, se elimina el medio portador de la resina y se tiene como resultado una unión en la que se tienen tres zonas: una porción de madera intacta, una zona impregnada con el adhesivo y una línea de cola donde solo se encuentra el adhesivo, En él se reconoce tres tipos de fuerzas que mantienen la unión: (Moslemi, 1974)

- Fuerza de cohesión que corresponde a la fuerza desarrollada entre las moléculas del adhesivo. Este tipo de fuerza se forma solo en la línea de cola.

- Fuerza de adhesión específica, que es una fuerza de naturaleza química desarrollada entre una molécula de adhesivo y la superficie de la madera.
- Fuerza de adhesión mecánica, que corresponde al anclaje mecánico provocado por la penetración del adhesivo en la madera (zona impregnada).

En todos estos casos la adhesión obtenida está dada en un 95% por la naturaleza de las uniones químicas que se hayan formado durante el fraguado. Las fuerzas químicas principales en las uniones producidas con adhesivos termo-endurecibles, que fraguan con la aplicación de calor, son por valencias, covalencias y puentes de hidrógeno. (Moslemi, 1974)

Actualmente más del 90% de los tableros se producen con urea formaldehído, el cual emplea químicos como catalizadores. El valor del pH del ambiente en que debe fraguar el adhesivo es ajustado agregándole sustancias catalizadoras y pueden ser la solución a los problemas de fraguado que la acidez de la madera provoca al adhesivo, ya que estos productos reaccionan con el agua durante el prensado liberando compuestos que determinan el ambiente del pH en que fraguará el adhesivo. (Poblete, 2001)

## **2.4 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS**

### **2.4.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN**

Los paneles en general, son destinados para uso de muebles, revestimiento de interiores, etc. Están sometidos a diferentes exigencias mecánicas, siendo la flexión una de las más importantes.

La flexión estática es la resistencia del tablero a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite proporcional, tensión de rotura y el módulo de elasticidad (Corporación Chilena de Madera, 2003). De otro lado, el ensayo de flexión es un indicador del estado de las caras o superficies del tablero; durante el ensayo de flexión, las fuerzas se distribuyen en la probeta de tal forma que son mayores en la superficie y prácticamente nula en el centro. Mientras que en la parte superior se producen esfuerzos de compresión en la inferior de tracción. (Poblete, 2001)

Kelly (1977) y Poblete (1985) sostienen que la resistencia a la flexión se encuentra afectada significativamente por el coeficiente de esbeltez, aumentando proporcionalmente con el aumento de este. Schwiertz (1979), añade que esta propiedad depende de la forma de las partículas de las capas exteriores, del contenido de cola que se utilice y de la densidad de las capas exteriores.

En una investigación efectuada en la Universidad Nacional Agraria la Molina se encontró lo siguiente: el MOR promedio en tableros de elaborados con partículas de Marupa es de 45 (Kg/cm<sup>2</sup>) para especies de 16 años de edad, de 51 (kg/cm<sup>2</sup>) para especies de 27 años de edad y de 45 (kg/cm<sup>2</sup>) para especies de bosque natural (Tello 2003)

#### 2.4.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

La tracción perpendicular es una propiedad que indica el estado de la capa central del tablero, debido a la forma en la que se distribuyen las fuerzas durante el ensayo. (Poblete, 2001). Asimismo, da una idea de la calidad del encolado de las partículas y es una de las de mayor importancia (Ginzel y Peraza, 1966).

Un tablero de partículas con adhesivo adecuadamente curado falla normalmente en el punto medio de su espesor, pues es la región de más baja densidad y la consolidación del colchón para obtener un contacto íntimo partícula-partícula es menor. La tracción se puede mejorar aumentando la densidad del tablero o aumentando la cantidad de resina, ya que la eficiencia de la resina y su influencia sobre las propiedades mecánicas depende de la forma como se atomice la cola, siendo mas efectiva la atomización fina (Kelly, 1977).

En una investigación efectuada en la universidad Nacional Agraria la Molina se encontró lo siguiente: el Coeficiente de resistencia a la Tracción promedio en tableros de elaborados con partículas de Marupa es de 1.46 (Kg/cm<sup>2</sup>) para especies de 16 años de edad, de 1.18 (Kg/cm<sup>2</sup>) para especies de 27 años de edad y de 1.39 (Kg/cm<sup>2</sup>) para especies de bosque natural. (Tello, 2003)

### 2.4.3 ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Maloney (1977) indica la importancia de la estabilidad dimensional en los tableros de partículas, especialmente cuando el producto se destina para usos en exteriores, en la fabricación de muebles o en productos que requieren estabilidad. La capacidad de resistir la acción de la humedad, manteniendo las dimensiones originales confiere mayor calidad al producto.

El hinchamiento refleja la estabilidad dimensional del tablero ante variaciones de la humedad ambiental. Se calcula midiendo el espesor antes y después de un baño en agua a 20° C por 2 y 24 horas. El aumento de espesor se expresa como porcentaje y se define como hinchamiento (Poblete, 2001). Asimismo, esta prueba permite tener una idea del comportamiento del tablero a la humedad y el efecto hidrófobo agregado. (Ginzel y Peraza, 1966)

En los datos encontrados en tesis anteriores realizadas en la universidad Nacional Agraria la Molina se aprecia lo siguiente: el hinchamiento promedio en tableros de elaborados con partículas de Marupa es de 57.30 % para especies de 16 años de edad, de 42.40 % para especies de 27 años de edad y de 49.30 % para especies de bosque natural. La absorción promedio en tableros de elaborados con partículas de Marupa es 138.60 % para especies de 16 años de edad, de 108 % para especies de 27 años de edad y de 136.2 % para especies de bosque natural. (Tello 2003)

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE ESTUDIO**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Paneles, Ensayos Tecnológicos y de Transformación Química de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

#### **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1 ESPECIE**

El material que se utilizó como materia prima para la conformación del tablero de partículas fue el bambú "*Guadua angustifolia*" proveniente del distrito La Florida, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca (figura 1).

##### **3.2.2 MATERIALES**

Resinas UF-603 con un 51% de contenido de sólidos

Catalizador cloruro de amonio (CINH<sub>4</sub>)

Agua

Parafina

Prensa de platos calientes HORNA MACCHINE

Otros



**Figura 1** La Florida provincia San Miguel departamento Cajamarca plantaciones de Bambú.

### 3.2.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Molino de aspas
- Malla N° 2 y N°4.
- Tamiz de 0.25mm, 1mm, 2mm ,4mm de abertura
- Estufa eléctrica MEMMERT
- Bandeja de aluminio
- Compresora de 2 atm. de presión
- Pistola pulverizadora

- Formador manual
- Prensa de platos calientes HORMA MACCHINE
- Placas metálicas
- Cronómetro
- Calibrador de velocidad MITUTOYO
- Prensa de ensayos tecnológicos TINIUS OLSEN
- Vernier digital (0.001mm)
- Equipo de cómputo
- Otros

### **3.3 METODOLOGÍA**

#### **3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TABLEROS**

Se obtuvieron 5 tableros homogéneos y 5 tableros de tres capas, los cuales poseen las siguientes características:

- Medidas (largo, Ancho, Espesor): 40cm x 40cm x 1.5cm
- Densidad: 0.68 gr/cm<sup>3</sup>
- Contenido de Humedad: 12%
- Resinosidad: 10%

### 3.3.2 BALANCE DE INSUMOS Y MATERIALES

- El primer paso para elaborar los tableros de partículas es el cálculo de las cantidades de los insumos y materiales empleados en su fabricación.

#### A) TABLEROS HOMOGÉNEOS

**Cuadro 1** Cantidad de insumos y materiales empleados en 1 tablero homogéneo.

Volumen del tablero	2400 cm <sup>3</sup>
Peso de las partículas	1404.2 gr
Peso total de la cola	285.6 gr
Peso total del agua	194. gr
Peso del catalizador	13.25 gr

Teniendo en cuenta los datos anteriores, el rendimiento del bambú y otras variables, se determinó que para elaborar los 5 tableros homogéneos se utilizó:

- Cantidad total de bambú 25 kilogramos.
- Total de cola 1.5 kilogramos.
- Total de agua 1 kilogramo.
- Total de catalizador 0.07 kilogramos.

#### B) TABLEROS DE 3 CAPAS

a) Capa externa:

**Cuadro 2** Cantidad de insumos y materiales empleados en la capa externa de los tableros de 3 capas.

Volumen del tablero	800 cm <sup>3</sup>
Peso de las partículas	468 gr
Peso total de la cola	95 gr
Peso total del agua	35 gr
Peso del catalizador	4.41 gr

Teniendo en cuenta los datos anteriores, el rendimiento del bambú y otras variables, se determinó que para elaborar los 5 tableros se utilizó:

- Cantidad total de bambú 11 kilogramos.
- Total de cola 0.5 kilogramos.
- Total de agua 0.20 kilogramos.
- Total de catalizador 0.025 kilogramos.

b) Capa media:

**Cuadro 3** Cantidad de insumos y materiales empleados en la capa media de los tableros de 3 capas

Volumen del tablero	1600 cm <sup>3</sup>
Peso de las partículas	936.2 gr
Peso total de la cola	190.5 gr
Peso total del agua	64 gr
Peso del catalizador	8.83 gr

Teniendo en cuenta los datos anteriores, el rendimiento del bambú y otras variables, se determinó que para la elaboración de los tableros se utilizó:

- Cantidad total de bambú 22 kilogramos.
- Total de cola 1 kilogramos.
- Total de agua 0.35 kilogramos.
- Total de catalizador 0.05 kilogramos.

### 3.3.3 OBTENCIÓN DE PARTÍCULAS

Las partículas de espesor uniforme fueron obtenidas de dos tamaños distintos, una para la capa media y las otras para las capas externas de los tableros de tres capas, las cuales son las mismas que las de los tableros de partículas homogéneas.

Las partículas de “bambú” se obtuvieron en un molino de aspas (Figura 2) donde se redujo sus dimensiones en largo y ancho. Para lo cual se usaron distintos tipos de mallas según el requerimiento deseado, en este caso se utilizaron la malla número 2 para partículas pequeñas y la malla número 4 para partículas de mayor tamaño (Figura 3).

Las partículas obtenidas fueron sometidas a un proceso de tamizado con la finalidad de eliminar los restos de polvillo que aun quedaban presentes ya que estos aumentan el área de encolado y disminuyen las propiedades del tablero.

Finalmente, se tomaron muestras de las astillas para determinar:

- A- El pH de la muestra, determinado mediante normas tappi (1983). T509om-83
- B- El contenido de humedad de la muestra.
- C- El coeficiente de esbeltez.

### 3.3.4 TAMIZADO

Las partículas obtenidas en la operación anterior presentan aún un porcentaje de polvillo, estas tenían que ser eliminadas debido a que aumentan el área de superficie para el encolado. Para ello se realizó un tamizado en una malla de 0.25 mm de abertura para obtener la homogeneidad de las partículas. Seguidamente se tomaron muestras de las partículas para determinar su coeficiente de esbeltez y se tamizan en distintos tamaños de mallas para tener una conformación con mayor homogeneidad y mejor distribución de las partículas.



**Figura 2** Molino de aspas



**Figura 3** Mallas utilizadas en el molino de aspas

### 3.3.5 SECADO

Las partículas de bambú fueron secadas hasta llegar a un contenido de humedad final de 6%.

### 3.3.6 FORMULACIÓN DE LA COLA

Se utilizó una mezcla de resina urea formaldehído, cloruro de amonio y agua en cantidades calculadas según la elaboración de cada tablero.

Insumos:

Resina UF-603, con un 51% de contenido de sólidos

Catalizador cloruro de amonio (CINH<sub>4</sub>)

Agua

### 3.3.7 FABRICACIÓN DEL TABLERO.

Características del tablero:

Se elaboró tableros homogéneos y de tres capas, con las siguientes dimensiones

Medidas:

Largo            40cm

Ancho            40cm

Espesor          1.5cm

Densidad    : 0.68 gr/cm

CH            : 12%

Resinosidad : 10%

Catalizador : 10% en base al peso sólido de la cola.

La cantidad de insumos usados en cada capa se muestran en el Anexo 22.

#### *A) ENCOLADO*

Las partículas fueron encoladas por pulverización para lo cual se empleo una pistola pulverizadora de 2 atm de presión, manteniendo las partículas en constante movimiento de tal forma que se consiga esparcir bien la resina sobre la superficie de las partículas.

#### *B) FORMACIÓN DEL MAT O COLCHÓN*

Las partículas encoladas se vertieron sobre un formador de madera buscando una distribución uniforme de las mismas. Luego se aplica un pre-prensado por 5 minutos para obtener un colchón o mat de espesor uniforme.

Para los tableros de tres capas la conformación se realizó con partículas de diferentes coeficientes de esbeltez, las partículas pequeñas son para la capa externa y las partículas grandes para la capa media, las dimensiones de las partículas se observan en los anexos 1 y 2.

#### *C) PRENSADO EN CALIENTE*

El colchón obtenido se colocó en una placa de aluminio, untada con parafina para evitar que quede adheridas a ellas, luego se colocan los topes de metal que darán el espesor deseado al tablero; Luego todo se lleva a la prensa de platos calientes hasta que este el proceso terminado como se muestra en la figura 5. Finalmente se retira el tablero se estabiliza, se lija y se escuadran los cantos. (Figura 4 prensa)

Variables de prensado.

Temperatura:	140 °C
Presión :	50 Kg/cm <sup>2</sup>
Tiempo :	12 minutos



**Figura 4** Prensa de platos calientes HORNA MACCHINE



**Figura 5** Tablero final después del prensado

### 3.3.8 EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS

La determinación de las propiedades físicas y Mecánicas de los tableros homogéneos y de tres capas se realizó según lo estipulado en las normas DIN

**Cuadro 4** Normas DIN utilizadas para los ensayos Físicos-Mecánicos

<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA DIN</b>
Resistencia a la flexión	52362
Resistencia a la tracción	52365
Hinchamiento y Absorción de agua	52364
Densidad	52361

#### **Distribución de probetas por tablero:**

**Cuadro 5** Cuadro 5: Distribución de probetas usadas para los ensayos Físicos-Mecánicos

<b>ENSAYO</b>	<b>Nº DE PROBETAS ensayo/tablero</b>	<b>TOTAL DE PROBETAS /tipo de tablero</b>	<b>DIMENSIONES (mm)</b>
Resistencia a la flexión	5	25	15*50*300
Resistencia a la tracción	7	35	15*50*50
Hinchamiento y Absorción de agua	10	50	15*25*25
Densidad	7	35	15*50*50

Nota: las probetas usadas para los ensayos de tracción son las mismas usadas para el cálculo de la densidad del tablero.



**Figura 6** Ensayo de flexión



**Figura 7** Ensayo de tracción perpendicular

### 3.3.9 DISEÑO ESTADÍSTICO

Los resultados de los ensayos físicos y mecánicos fueron evaluados estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA) tanto para los tableros homogéneos y de tres capas y cuyo modelo aditivo lineal fue:

$$X_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$X_{ij}$  observación correspondiente a la  $i$ -ésima repetición.

$U$ .. media de todas las observaciones del tratamiento.

$T_i$  parámetro que mide el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  termino aleatorio denominado error, que mide el efecto que no puede ser

Explicado con la variabilidad entre tratamientos.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

#### 4.1.1 COEFICIENTE DE ESBELTEZ.

Los valores del coeficiente de esbeltez de las partículas se muestran en el cuadro 6, según el tipo de tamiz utilizado. Estas mediciones se efectuaron, tanto en partículas de capa externa como en partículas de capa media para los tableros de tres capas. Se observó que las partículas de capa externa se concentran en los tamaños más pequeños, un 85 % se encuentran en los tamices inferiores a 1.0 mm. Por el contrario, en el caso de las partículas destinadas a las capas medias, un 95 % de las partículas quedan clasificadas en tamaños mayores a 1.0 mm. Esta clasificación permite calcular los largos y espesores ponderados de los dos tipos (externas y medias). Con los valores ponderados de las dimensiones (largo y espesor) se calcularon los Coeficientes de Esbeltez (Cuadro 6) En este caso las partículas de capas externas son las mismas partículas que se utilizaron en la formación de los tableros homogéneos. La geometría de las partículas obtenidas demuestra que tienen largos adecuados pero espesores mayores a los que se obtienen.

**Cuadro 6** Coeficiente de esbeltez de las partículas para la capa externa e interna.

<b>PARTICULAS CAPA EXTERNA</b>			
TAMIZ	C.e. promedio	C.e. Rango	% total
2mm	27.7	14.3-53.3	85
1mm	26.5	12.5-73.5	10
0.5mm	39.5	14.20-90	5
promedio	31.23		100%
<b>PARTICULAS CAPA MEDIA</b>			
TAMIZ	Ce promedio	Rango	%
4mm	48.8	20.1-115	80
2mm	39.1	31.1-62.3	15
1mm	51.9	20.1-114	5
Promedio	46.6		100 %

#### 4.1.2 DENSIDAD.

La densidad básica promedio de las muestras de bambú utilizadas fue de 0.65 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, el valor máximo de densidad de las muestras utilizadas fue de 0.67 gr/cm<sup>3</sup> mientras que el valor menor fue de 0.62 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 DETERMINACIÓN DEL PH.

El valor del pH promedio en las partículas de bambú utilizadas fue de 5.56, Dicho valor es elevado comparado al de las maderas según Poblete, 2001. En general esto ocasiona el uso de mayor cantidad de catalizador para conseguir un fraguado adecuado en el proceso establecido.

### 4.2 ENSAYO FÍSICO.

#### 4.2.1 DENSIDAD DE LOS TABLEROS.

Al observar los valores obtenidos en las probetas evaluadas para el cálculo de la densidad de los tableros elaborados con partículas de “bambú” (Anexo 3 y 4). Se Nota que la densidad de los tableros de partículas homogéneos es similar a la de los tableros de tres capas.

En los tableros homogéneos se encontró una pequeña variación en la distribución de los datos es decir es una relación homogénea en la toma información realizada en el ensayo esto lo podemos se confirma con un coeficiente de variabilidad de 12.2%

En los tableros de tres capas se encontró una insignificante variación en la distribución de los datos es decir es una relación homogénea en la toma información realizada en el ensayo esto se confirma con un coeficiente de variabilidad de 6.2%

Se observa que la densidad promedio de los tableros homogéneos es 0.63 gr/cm<sup>3</sup> mientras que la densidad promedio de lo tableros de tres capas es de 0.62 gr/cm<sup>3</sup>, notándose también que la muy baja variabilidad entre los valores de las densidad de los tableros homogéneos y en los tableros de tres capas. En el Anexo 13 se puede apreciar que el análisis de varianza muestra una variabilidad baja (9.63%) esto indica que es una prueba homogénea.

En el Anexo 14 se aprecia que las pruebas de Tukey y Duncan confirman la homogeneidad existente entre tratamientos, es decir son pruebas de comportamiento similar.

En el cuadro 8, se observa que la densidad de los tableros a un contenido de humedad de 12% son similares; En los tableros homogéneos es 0.616 g/cm<sup>3</sup> mientras que la densidad promedio de lo tableros de tres capas es de 0.635 gr/cm<sup>3</sup>, notándose también que la muy baja variabilidad entre los valores de las densidad de los tableros homogéneos y en los tableros de tres capas.

Los resultados encontrados concuerdan con lo establecido por Poblete (2001), quien señala que la razón de compresión, que relaciona la densidad del tablero versus la densidad de la madera, debe ser mayor que 1.

**Cuadro 7** Valores promedios y coeficiente de variabilidad de la densidad calculada.

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD MEDIA TEORICA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO POR TABLERO (gr/cm <sup>3</sup> )	RANGO (g/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	CV % POR TIPO DE TABLERO	CV % total
TABLERO HOMOGENEO	1	0.68	1 0.52	0.457-0.612	0.62	12.2%	9.63%
	2		2 0.63	0.543-0.683			
	3		3 0.67	0.580-0.761			
	4		4 0.63	0.589-0.674			
	5		5 0.65	0.580-0.724			
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.68	1 0.62	0.555-0.670	0.63	6.2%	9.63%
	2		2 0.61	0.580-0.643			
	3		3 0.62	0.591-0.654			
	4		4 0.65	0.593-0.703			
	5		5 0.64	0.588-0.727			

**Cuadro 8** Valores promedios del peso, volumen y densidad de los tableros.

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD MEDIA TEORICA (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD POR TABLERO (gr/cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO ( gr/cm <sup>3</sup> )	RAZON DE COMPACTACION	VOLUMEN (cm)
TABLERO HOMOGENEO	1	0.68	1 0.574	0.616	0.783	2400
	2		2 0.615		0.839	2400
	3		3 0.631		0.861	2400
	4		4 0.630		0.859	2400
	5		5 0.632		0.862	2400
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.68	1 0.641	0.635	0.874	2400
	2		2 0.641		0.874	2400
	3		3 0.631		0.861	2400
	4		4 0.638		0.870	2400
	5		5 0.625		0.853	2400

#### 4.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS TABLEROS.

El Cuadro 9 muestra los valores promedio del contenido de humedad de los tableros elaborados con los diferentes tratamientos; los valores de contenido de humedad según el tipo de tablero varían en tableros homogéneos de 10.82 % a 11.50%; mientras que en tableros de tres capas varían de 10.63% a 11.14% lo cual implica que son valores muy cercanos al contenido de humedad planteado teóricamente, que es de 12%, esto se debe probablemente al tamaño de las partículas y al encolado resultante.

La variación en el contenido de humedad entre los tableros de tres capas y homogéneos es mínima y se confirma con un coeficiente de variabilidad de 3%, la cual se debe al diferente tamaño de partículas usadas en estos tratamientos.

**Cuadro 9** Valores promedios y coeficiente de variabilidad del CH(%) calculado de los tableros.

TIPO	TABLEROS	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO POR TABLERO (%)	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	C.V. % POR TIPO DE TABLERO	C.V.% total
TABLERO HOMOGENEO	1	11.25	0.62	2..3%	3%
	2	11.50			
	3	11.43			
	4	11.22			
	5	10.82			
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	11.07	0.63	1.9%	3%
	2	11.14			
	3	10.63			
	4	10.79			
	5	10.95			

#### 4.2.3 ABSORCIÓN DE AGUA.

El Cuadro 10 presenta los valores promedios y coeficiente de variabilidad del cálculo de absorción de agua a las 2 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con partículas de bambú.

En este cuadro se aprecia que los tableros homogéneos tienen como máximo valor de absorción 120 % y mínimo de 68 % con un coeficiente de variabilidad de 28%, mientras que los tableros de tres capas tienen un valor máximo de 71 % y un valor mínimo de 64 % con un coeficiente de variabilidad de 12%, para este tipo de ensayos los coeficientes de variabilidad son aceptables de acuerdo los requerimientos establecidos para este tipo de ensayos (anexo 5 y anexo 6). El resultado nos indica un comportamiento similar en todas las repeticiones, salvo en el primer tablero homogéneo que es notoriamente alto pero aceptable ante los requerimientos establecidos. Se observa también del cuadro 10, que para la absorción de agua a las 2 horas, los tableros homogéneos tienen un promedio de absorción de agua de 80.72 % y en los

tableros de tres capas 67.80 % lo cual muestra que los tableros con mayor densidad tienden a absorber menos agua esto se debe a la influencia del grado de compactación de los tableros.

**Cuadro 10** Valores promedios y coeficiente de variabilidad de la absorción calculada a las 2 horas.

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORCIÓN PROMEDIO POR TABLERO (%)	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	CV % POR TIPO DE TABLERO	CV % total
TABLERO HOMOGÉNEO	1	0.62	120	80.72	28	23
	2		68			
	3		70			
	4		75			
	5		71			
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	67	67.80	12	23
	2		71			
	3		71			
	4		64			
	5		65			

El Cuadro 11 presenta los valores promedios y coeficiente de variabilidad del ensayo de absorción de agua (%) a las 24 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con partículas de bambú.

En el se aprecia que los valores absorción de agua a las 24 horas de inmersión son ; para tableros homogéneos el valor máximo es de 129 (%) y el valor mínimo es de 74 (%) con un coeficiente de variabilidad de 29% mientras que para tableros de tres capas el valor máximo es de 79 (%) y el valor mínimo es de 69 (%) de absorción de agua con un coeficiente de variabilidad de 12%. Se nota que para los tableros homogéneos la absorción a las 24 horas es de 86.93 % mientras que en los tableros de tres capas el promedio de absorción es de 74.16 %.

**Cuadro 11** Valores promedios y coeficiente de variabilidad de la absorción calculada a las 24 horas

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORCIÓN PROMEDIO POR TABLERO (%)	ABSORCIÓN PROMEDIO (%)	CV % POR TIPO DE TABLERO	c.v %
TABLERO HOMOGÉNEO	1	0.62	129	86.93	29	...
	2		74			...
	3		76			23
	4		80			..
	5		75			.
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	73	74.16	12	...
	2		78			23
	3		79			...
	4		71			..
	5		69			....

Asimismo las normas DIN no tienen valores máximo ó mínimos para este ensayo pero Kumar, citado por Maldonado (1992); menciona valores promedios de 45 % a 95 % , por lo tanto se afirma que los resultados obtenidos se encuentran de estos rangos. El análisis estadístico realizado indica un coeficiente de variabilidad de 23% Anexos 7 y 8.

#### 4.2.4 HINCHAMIENTO.

En el cuadro 12 se aprecia los resultados obtenidos en los ensayos de hinchamiento a las 2 horas de inmersión en agua de los tableros de partículas de bambú, homogéneos y de tres capas; En el cual se observan los valores promedios resultantes. En el caso de tableros homogéneos el valor máximo obtenido es de 28 % mientras que el valor mínimo es de 8 % con un coeficiente de variabilidad de 62% y para tableros de tres capas el valor máximo obtenido es 12 % y el mínimo es de 10 % con un coeficiente de variabilidad de 15%.

El valor promedio de hinchamiento a las 2 horas para tableros homogéneos es de 12.53 % y para los tableros de tres capas es 11 %. En el anexo 9, el coeficiente de variabilidad es 15% lo cual indica una homogeneidad entre los datos tomados. En los ensayos de Tukey y Ducan, las

medias obtenidas de todas las muestras, menos las del tablero homogéneo -1. Muestran un mejor comportamiento de los tableros homogéneos que el de los de tres capas (Anexo 10). Así mismo los datos del tablero número uno como inexistentes por ser excesivamente alejados del promedio general. Esta diferencia es causada por el exceso de humedad existente en su preparación. Las normas DIN plantean un rango de hinchamiento a las 2 y 24 horas de 6% y 15%, en este caso los valores obtenidos están en el rango establecido.

**Cuadro 12** Valores promedios y coeficiente de variabilidad del hinchamiento de tableros calculado a las 2 horas.

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	HINCHAMIENTO PROMEDIO POR TABLERO (%)	HINCHAMIENTO (%)	CV % POR TIPO DE TABLERO	c.v %
TABLERO HOMOGÉNEO	1	0.62	28	12.53	62	...
	2		8			...
	3		8			15
	4		9			..
	5		10			.
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	10	11.00	15	...
	2		10			...
	3		12			15
	4		11			..
	5		12			....

En el cuadro número 13 se aprecia los resultados obtenidos en los ensayos de hinchamiento a las 24 horas de inmersión en agua de los tableros de partículas de bambú, homogéneos y de tres capas. En este cuadro se presentan los valores promedios resultantes. En el caso de tableros homogéneos el valor máximo obtenido es de 35 % mientras que el valor mínimo es de 11 % con un coeficiente de variabilidad de 66%, para tableros de tres capas el valor máximo obtenido es 14 % y el mínimo es de 11 % con un coeficiente de variabilidad de 14.7%.

El valor promedio de hinchamiento a las 24 horas para tableros homogéneos es de 15.42 % y para los tableros de tres capas es de 12.35 %. En el Anexo 11 el coeficiente de variabilidad es 14.51% lo cual indica una homogeneidad en los datos tomados y en los ensayos de Tukey y

Ducan, las medias obtenidas nos muestran un mejor comportamiento de los tableros homogéneos que de tres capas (Anexo 12). Asimismo los datos del tablero número uno como inexistentes por ser excesivamente alejados del promedio general. Esta diferencia es causada por el exceso de humedad existente en su preparación.

**Cuadro 13** Valores promedios y coeficiente de variabilidad del hinchamiento de tableros calculada a las 24 horas

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	HINCHAMIENTO PROMEDIO POR TABLERO (%)	HINCHAMIENTO (%)	c.v % POR TIPO DE TABLERO	c.v %
TABLERO HOMOGENEO	1	0.62	35	15.42	66	...
	2		10			...
	3		10			.14.51..
	4		10			..
	5		11			.
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	11	12.35	14.7	...
	2		12			...
	3		14			14.51
	4		12			..
	5		13			....

**Cuadro 14** Comparación hinchamiento vs absorción entre tablero homogéneos y de tres capas

		HINCHAMIENTO (%)						ABSORCION DE AGUA (%)							
		DENSIDAD		2 HORAS		24 HORAS		2 HORAS		24 HORAS					
Tipo de tablero		promedio	rango	promedio	rango	cv(%)	promedio	rango	cv(%)	promedio	rango	cv(%)	promedio	rango	cv(%)
	1	0.533	0.43-0.59	27.73	24.0-29.5		35.34	30.3-38.4		120	105-146		130	117-149	
	2	0.638	0.52-0.74	7.96	6.3-9.5		10.25	7.2-12.5		68	50.5-109		74.4	57.6-116	
T.H	3	0.627	0.51-0.70	8.05	6.8-9.1	12.53	10.29	7.8-13.6	15.42	69.6	57.1-76.2	28	75.6	63.4-118	29
	4	0.609	0.57-0.65	9	7.6-10.8		10.28	9.2-11.4		74.6	66.1-83.4		79.7	72-87.2	
	5	0.635	0.54-0.71	9.93	8.0-14.9		10.94	7.8-12.5		71.4	58.5-87.7		75	62.2-89.3	
	1	0.653	0.57-0.70	9.95	7.8-12.8		11.47	9.0-14.3		67.4	57.8-82.8		73.4	63.5-87.4	
	2	0.615	0.58-0.67	10.26	9.2-12.3		11.54	9.7-14.2		71.2	58.8-79.2		78.3	67-85.8	
T.3.C.	3	0.636	0.59-0.68	12.34	10.9-13.4	11	19.93	11.1-16.2	12.35	71.3	65.6-79.3	12	79	72.2-86.6	12
	4	0.666	0.58-0.72	10.74	5.1-12.3		12.08	8.1-14.4		64.3	52.8-80.0		71	62.6-84.9	
	5	0.664	0.60-0.74	11.72	9.9-13.7		12.72	9.9-16.3		64.8	54.7-74.6		69.1	52.8-89.7	

En el cuadro 14 se aprecia los resultados obtenidos en los ensayos de Hinchamiento y Absorción a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de tableros homogéneos y de tres capas. En este cuadro se presentan los valores promedios resultantes en todos los casos al igual que los rangos correspondientes a cada tablero. En estos ensayos a mayor densidad se puede apreciar un mayor hinchamiento y a su vez una menor absorción de agua.

Se nota también que los valores promedio de hinchamiento y absorción son generalmente muy parecidos a excepción del tablero número uno el cual por motivos prácticos será retirado al momento del análisis estadístico.

### 4.3 ENSAYO MECÁNICO

#### 4.3.1 MODULO DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA.

El Cuadro 15 presenta los valores promedios de calculo del Modulo de rotura en flexión estática de los tableros elaborados con partículas de bambú, en el que se aprecia que para los tableros homogéneos el valor máximo es 100 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el valor mínimo es 23 kg/cm<sup>2</sup>; para los tableros de tres capas el valor promedio máximo es 99kg/cm<sup>2</sup> mientras que el valor mínimo es 79 kg/cm<sup>2</sup>.

El valor promedio para tableros homogéneos es de 67 kg/cm<sup>2</sup> y el valor promedio para tablero de tres capas es de 90 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual indica que los tableros de tres capas tiene mayor resistencia a la flexión estática; Esto se puede deber al tamaño y coeficiente de esbeltez de las partículas usadas en la conformación de los tableros, según lo mencionado por Kelly (1977) y Poblete (1985). Los datos obtenidos pueden ser considerados muy variados debido a los altos coeficientes de variabilidad que se muestran en los tableros homogéneos, mas no así en los tableros de tres capas. Esto indica baja homogeneidad en los valores obtenidos en los ensayos respectivos para tableros homogéneos.

Al comparar los valores de flexión obtenidos con los valores mínimos requeridos por normas DIN (180 kg/cm<sup>2</sup>) para tableros de densidad media, se tienen que ningún tablero supera dichas exigencias. Estos bajos valores se pueden deber a que no existió una buena adherencia entre la resina y las partículas de bambú. Como también se puede atribuir a las condiciones del prensado y a las cantidades de resina utilizada (Kelly, 1997).

Se observa en el Anexo 17 que el resultado del Análisis de varianza de los ensayos de flexión estática se puede encontrar una diferencia significativa entre los tratamientos realizados, con un coeficiente de variabilidad elevado pero aceptable, lo cual indica que los datos tomados no son muy homogéneos especialmente en los tableros homogéneos donde existen variaciones por causa de el primer tablero elaborado, el cual por un contenido de humedad mayor a los demás fue eliminado del ensayo de flexión estática para no alterar significativamente los datos en conjunto.

El Anexo 18 muestra los resultados en las pruebas de Duncan y Tukey efectuadas para comparar medias estos resultados brindan la posibilidad de determinar que los tableros homogéneos tienen menor resistencia a la flexión estática en comparación de los tableros de tres capas y que los comportamientos no son similares entre tratamientos. Asimismo los datos del tablero número uno como inexistentes por ser excesivamente alejados del promedio general

Confirmando las opiniones de Kelly (1977) y Poblete (1985) que sostienen que la resistencia a la flexión se encuentra afectada significativamente por el coeficiente de esbeltez aumentando proporcionalmente con el aumento de este, pues los tableros de tres capas tienen mayor resistencia a la flexión que los tableros homogéneos.

**Cuadro 15** Valores promedios y coeficiente de variabilidad de resistencia a la flexión de los tableros.

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	MOR PROMEDIO POR TABLERO (Kg/cm2)	MOR PROMEDIO (Kg/cm2)	c.v % POR TIPO DE TABLERO	c.v %
TABLERO HOMOGENEO	1	0.62	23	67	59.5	...
	2		72			...
	3		78			.32
	4		62			..
	5		100			.
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	85	90	20.1	...
	2		99			...
	3		79			.32
	4		92			..
	5		96			....

#### 4.3.2 TRACCIÓN PERPENDICULAR

En el cuadro 16 se presenta los valores promedio de la resistencia a la tracción perpendicular de los tableros elaborados con partículas de bambú. En el se aprecia los valores máximos y mínimos. El valor máximo es de 1.72 kg/cm<sup>2</sup> mientras que el valor mínimo es de 0.19 kg/cm<sup>2</sup>, para los tableros de tres capas el valor promedio máximo es de 2.32kg/cm<sup>2</sup> mientras que el valor mínimo es de 0.40 kg/cm<sup>2</sup>.

El valor promedio de resistencia a la tracción perpendicular para tableros homogéneos es de 1.19 kg/cm<sup>2</sup> y para tablero de tres capas es de 1.59 kg/cm<sup>2</sup>. Esto indica que los tableros de tres capas tienen mayor resistencia a la tracción perpendicular que los tableros homogéneos esto confirma lo establecido por Poblete, 2001.

Al comparar los valores de tracción obtenidos con los valores mínimos requeridos por normas DIN (3.5kg/cm<sup>2</sup>), se tienen que en su mayoría los promedios totales de tracción perpendicular en tablero homogéneos y de tres capas muestran valores menores a estas exigencias. Estos valores se pueden deber a que no existió una buena adherencia entre la resina y las partículas de bambú. Esta deficiencia en la adherencia se puede atribuir entre otros factores al fenómeno de convección, donde según Boeing y Jayne citado por Monteza 1997, la humedad de las partículas y la resina en el colchón genera una presión de vapor sobre la adhesión específica de las partículas más internas, dificultando el óptimo fraguado de la resina, aún después del tiempo de prensado establecido.

Según el Análisis de varianza de los ensayos de tracción perpendicular (Anexo 15) encontramos que estadísticamente existen diferencias significativas entre los valores de carga unitaria promedio por tablero, esto se aprecia en un coeficiente de variabilidad elevado.

En el anexo 16, los resultados en la prueba de Duncan y Tukey efectuadas para comparar medias brindan la posibilidad de determinar que los tableros homogéneos tienen menor resistencia a la tracción perpendicular en comparación de los tableros de tres capas. Asimismo los datos del tablero número uno se toman como inexistentes por ser excesivamente alejados del promedio general.

**Cuadro 16** Valores promedios y coeficiente de variabilidad de la resistencia a la tracción de los tableros

TIPO	TABLEROS	DENSIDAD PROMEDIO (g/cm <sup>3</sup> )	CARGA UNITARIA PROMEDIO POR TABLERO (Kg/cm2)	CARGA UNITARIA PROMEDIO (Kg/cm2)	c.v % POR TIPO DE TABLERO	c.v %
TABLERO HOMOGÉNEO	1	0.62	0.19	1.19	61	...
	2		1.63			...
	3		1.40			.38.19
	4		1.01			..
	5		1.72			.
TABLEROS DE TRES CAPAS	1	0.63	1.46	1.59.	57	...
	2		0.40			...
	3		1.77			38.19
	4		1.99			..
	5		2.32			....

#### 4.4 COMPARACIÓN DE TABLEROS HOMOGÉNEOS Y DE TRES CAPAS

**Cuadro 17** Valores promedios de tableros homogéneos y de tres capas.

TIPO	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad %	Absorción %		Hinchamiento %		Flexión estática (MOR) kg/cc <sup>2</sup>	Tracción perpendicular kg/cc <sup>2</sup>
			2h	24h	2h	24h		
TABLERO HOMOGÉNEO	0.62	11.24	80.72 - 86.93		12.53 - 15.42		67	1.19
TABLEROS DE TRES CAPAS	0.63	10.92	67.80 - 74.16		11.00 - 12.35		90	1.59
Valores normas DIN	-----	-----	45% a 95%		6% a 15%		180 kg/cc <sup>2</sup>	3.5 kg/cc <sup>2</sup>
Significancia estadística	ns	**	**	**	**	**	*	ns

Ns : no significancia      \* : significancia      \*\* alta significancia

En el cuadro 17 apreciamos que en una comparación final entre los tableros homogéneo y de tres capas, El tablero de tres capas tiene mejores propiedades Físico-Mecánicas que el tablero homogéneo. En conclusión los tableros de tres capas tienen un mejor comportamiento en los ensayos realizados.

## 5. CONCLUSIONES

- El bambú *Guadua angustifolia* Kunth es apto para la elaboración de tableros de partículas para uso no estructural en interiores.
- Los valores obtenidos en las propiedades físicas en los tableros homogéneos y de tres capas cumplen con lo solicitado para el tipo de producto.
- Los valores de los ensayos mecánicos obtenidos en los tableros homogéneos y de tres capas no cumplen con los valores mínimos establecidos por las normas DIN.
- Existen diferencias significativas en las propiedades físicas de absorción e hinchamiento entre tableros homogéneos y de tres capas.
- No existen diferencias significativas en los ensayos mecánicos (modulo de rotura en flexión estática y tracción perpendicular) entre los tableros homogéneos y de tres capas.
- La densidad del bambú *Guadua angustifolia* Kunth influyó en las propiedades físico mecánicas del tablero de partículas final sea homogéneo o de tres capas.
- La baja acidez que presentan las partículas de bambú incrementa el uso de catalizador en la formulación de la cola. En el estudio realizado se demuestra la posibilidad de elaborar.

## **6. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda mejorar procedimientos realizados en la elaboración de los tableros de partículas.
- Para realizar próximos ensayos con mejores resultados se recomienda el uso de instrumentos especializados en cada etapa del desarrollo del tablero. Por ejemplo optimizar la dispersión de las partículas de bambú en el momento de encolar el colchón, también es recomendable mejorar la pulverización uniforme de las partículas al momento de encolar el mat.
- En la preparación del mat o colchón se recomienda tener en cuenta el contenido de humedad de las partículas utilizadas y mantener esa humedad constante durante el proceso.
- En futuros ensayos se recomienda la mezcla de bambú con especies de menor densidad, para la formulación de tableros de partículas ya sea homogéneos o de tres capas.
- Adicional a estos ensayos se recomienda realizar estudios de factibilidad económica e industrial con la finalidad de identificar costos de fabricación y producción industrial de los tableros.

## *BIBLIOGRAFÍA*

- CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. 2003 Manual de Construcción de Viviendas con Madera. Santiago de Chile, CL. 55 p.
- CASTAÑO, F. y DARIO, R. 2004 Guadua para todos, proyecto de manejo sostenible de bosques de Colombia. CO. 188 p.
- GINZEL, W. Y PERAZA, C. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid, ES, Ministerio de agricultura. 187 p.
- CACERES R., H. 1988. Características químicas y biométricas de algunas especies de bambúes como fuente de pulpa para papel. Bambusoideas de Colombia. CO. 59 p.
- JUDZIEWICS, EMMET, et. al. 1999. American bamboos. Washington, D.C., USA, Smithsonian Institution Press. 392 p.
- KEHR, E. 1962. Beitrag Zur Verwertung von abfallspanen aus holzverarbeitenden betrieben fur spanplatten. Holztechnologie 3(1): 22-28
- KELLY, M: 1977. Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. Madison, USA. 65 p. (General technical report. FPL, 10).
- KOLLMANN, F 1984. Principles of wood science and technology. Vol. I. Berlin, AL. 592 p.

- LONDOÑO, X. 1998. A decade of observations of a *Guadua angustifolia* plantation in Colombia. J. Amer. Bambú Soc. 12(1): 37-43
- MALONEY, M. T. 1977 Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing. Milles Freeman Publication Inc. San Francisco, USA. 672 p.
- MONTEZA, O. 1997 Aptitud de tres especies de genero pinus, procedentes del raleo de plantaciones de Cajamarca en la elaboración de tableros de partículas. Tesis (Ing. Forestal). Lima, PE, UNALM. 86p.
- MOSLEMI, A.A.1974. Particleboard. Southern Illinois, USA, University Press. v. 1, 245 p.
- POBLETE, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. Bosque. Vol. 3 (1) 39, CL. 46p.
- POBLETE, H. 1985. Influencia del tamaño de partículas sobre las propiedades mecánicas, flexión y tracción, en tableros de partículas aglomeradas con urea formaldehído. Investigación en CHILE: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. CL. Tomo II 241-256 p.
- POBLETE, H. 2001. Tableros de partículas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. CL. 177p.
- POBLETE, H. 1978. Uniones de madera con adhesivos. Valdivia, CL, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. CL. 43p. (Publicación técnica N° 1)

POBLETE, H; PEREDO, M. Desechos del debobinado como materia prima para la fabricación de tableros de partículas Actas VII reunión sobre investigación y desarrollo de productos forestales.

SCHWIERTZ, H. 1979. Deficiencias de los tableros de madera aglomerada y su eliminación. Asociación de investigación técnica de las industrias de la madera y corcho. (AITIM) año VII N°44 julio-agosto.

TELLO, M. 2006. Elaboración de tableros de partículas de densidad media con residuos de Marupa (*Simarouba amara*) proveniente de la plantación de Jenaro Herrera y de bosque natural. Tesis de grado, Lima, PE. 51p.

# ANEXO 1

## COEFICIENTE DE ESBELTEZ PARA PARTÍCULAS DE CAPA EXTERNA

### COEF ESBELTEZ DE LAS PATRTICULAS

partículas capa externa partículas tamizadas ( 0.5mm)			partículas capa externa partículas tamizadas ( 1mm)			partículas capa externa partículas tamizadas ( 2mm )		
L	A	C.E.	L	A	C.E.	L	A	C.E.
8.25	0.18	45.8	7.21	0.21	34.3	7.2	0.32	22.5
4.25	0.16	26.6	8.83	0.12	73.5	5.8	0.3	19.3
3.71	0.06	61.8	6.51	0.3	21.8	5.5	0.35	15.7
3.21	0.13	55.4	5.88	0.34	17.2	5.2	0.33	15.7
4.09	0.13	31.46	5.66	0.35	16.2	4.3	0.3	14.3
7.49	0.25	29.96	5.95	0.22	27	5.1	0.28	18.2
5.87	0.13	45.15	6.17	0.18	34.3	4.5	0.26	17.3
4.47	0.12	37.25	5.56	0.34	16.4	4.9	0.28	17.5
6.55	0.26	25.2	5.06	0.33	15.4	5.2	0.3	17.3
3	0.08	37.5	8.71	0.34	25.6	5.6	0.33	16.9
6.28	0.44	14.2	6.26	0.5	12.5	4.6	0.29	15.8
8	0.26	30.7	7.03	0.3	23.4	6.5	0.24	27.1
7.3	0.15	48.6	6.31	0.3	21	6.2	0.22	28.2
6.2	0.33	18.78	6.59	0.31	21.25	5.6	0.26	21.5
6.5	0.21	30.1	5.47	0.2	27.35	6.1	0.22	27.7
5.8	0.11	52.7	6.5	0.36	18.1	6.4	0.12	53.3
4.5	0.05	90	6.5	0.29	22.4	5.6	0.21	26.6
7.2	0.15	48	5.18	0.19	27.3	6.2	0.32	19.4
6.1	0.2	30.5	8.43	0.15	56.2	6.4	0.21	30.5
5.6	0.12	46.6	6.16	0.4	15.4	6.3	0.25	25.2
4.9	0.1	49	9.59	0.36	26.6	5.9	0.14	42.1
5.3	0.14	37.9	7.17	0.32	22.4	5.6	0.2	28
6.2	0.23	26.9	4.72	0.26	18.2	4.5	0.22	20.5
7.1	0.13	54.6	4.5	0.21	21.4	5.2	0.21	24.7
6.8	0.2	34	5.7	0.21	27.1	6.2	0.13	47.7
6.5	0.22	30	6.8	0.25	27.2	5.2	0.17	30.5
5.6	0.21	26.6	5.83	0.22	26.5	5.6	0.11	50.9
4.5	0.13	34.6	6.1	0.21	29	5.8	0.14	41.4
5.2	0.11	47.2	6.3	0.26	24.2	5.8	0.11	52.7
5.1	0.13	39.2	5.6	0.12	46.7	6.5	0.15	43.3
Promedio		39.5433333	promedio		26.53	promedio		27.7266667
desv est		14.6666518	desv est		12.4648947	desv est		11.9485266

## ANEXO 2

### COEFICIENTE DE ESBELTEZ PARA PARTÍCULAS DE CAPA MEDIA

Partículas capa media Partículas tamizadas ( 1mm)			partículas capa media partículas tamizadas ( 2mm)			partículas capa media partículas tamizadas ( 4mm)			
LL	A	C.E.	L	A	C.E.	L	A	C.E.	
9.2	0.19		52	11	0.25	44	24.95	0.42	59.4
6.6	0.18		36	10	0.22	45.5	27.8	0.48	57.9
7.9	0.22		36	9.2	0.21	43.8	34.59	0.38	91
8	0.2		36	15.2	0.3	50.6	20.95	0.38	55.13
6.43	0.08		80	13.2	0.35	37.7	14.71	0.44	36.7
8.14	0.2		40.7	14.2	0.32	44.4	17.67	0.4	44.17
6.95	0.21		33.1	12.1	0.3	40.3	13.78	0.42	32.8
7	0.16		43.8	11.2	0.3	37.3	22.83	0.55	41.5
9.15	0.08		114.3	10.5	0.31	33.8	38.65	0.48	80.52
7.77	0.22		35.3	9.2	37.5	38.8	16.78	0.71	23.6
8.52	0.3		22.4	9	0.24	37.5	17.57	0.54	32.5
11	0.26		52.4	10	0.26	38.4	18.19	0.37	49.16
15	0.14		107.1	11.2	0.3	37.3	18.76	0.3	62.5
6	0.13		46.2	11.6	0.36	32.2	13.4	0.41	32.6
10.7	0.11		97.3	7.5	0.21	35.7	13.07	0.36	36.3
6.73	0.2		33.6	9.2	0.25	36.8	19.67	0.37	53.2
5.66	0.62		28.7	13.1	0.21	62.3	14.12	0.4	35.3
9.83	0.2		49.15	11.2	0.36	31.1	16.69	0.36	46.36
7.97	0.01		113.8	12.3	0.35	35.1	16.66	0.3	55.66
11.32	0.13		87.07	9.5	0.32	30	70.03	0.35	57.2
5.77	0.51		11.3	14.3	0.34	42	16.08	0.4	40
7.88	0.4		19.7	12.4	0.36	34.4	14.9	0.2	74.5
7.93	0.3		26.4	11.5	0.36	31.9	11.2	0.38	29.5
8.07	0.4		20.1	8.5	0.25	34	15.26	0.26	58.69
11.09	0.13		85.6	11.6	0.36	32.2	11.73	0.26	58.69
6.26	0.07		84.5	10.5	0.25	42	11.73	0.57	20.5
9.94	0.25		39.8	11.4	0.27	42.2	11.3	0.48	25.1
8.26	0.12		68.8	13.5	0.26	51.9	17.11	0.33	51.8
10.84	0.35		30.9	13.4	0.35	38.2	19.59	0.17	115.2
8.65	0.35		24.7	11.6	0.36	32.2	19.52	0.26	7.5
	promedio	51.8906667		promedio	39.12		promedio	48.8326667	
	desv est	29.6537118		desv est	6.9287998		desv est	21.6979563	

## ANEXO 3

### DENSIDAD DE LAS PROBETAS DE LOS TABLEROS HOMOGÉNEOS

Código	peso inicial	Esesor	largo	Ancho	v	densidad
1 ; 1	A1	21.39 g	14.56	50.08	50.04	0.3990417
1 ; 1	A2	17.33	14.64	51.78	50.01	37910.5406 0.4571288
1 ; 1	A3	18.24	14.5	51.43	49.83	37159.9751 0.49085071
1 ; 1	A4	22.24	14.54	49.93	50.06	36342.6689 0.61195285
1 ; 1	A5	20.67	14.55	50.9	50.24	37207.4928 0.55553327
1 ; 1	A6	19.94	14.53	45.5	50.12	33135.0838 0.60177907
1 ; 1	A7	18.36	14.53	51.64	49.96	37486.4468 0.48977701
1 ; 2	A1	20.61	14.65	51.52	50.28	37949.735 0.5430868
1 ; 2	A2	25.46	14.51	51.22	50.19	37301.3184 0.6825496
1 ; 2	A3	24.29	14.53	50.04	50.84	36964.8082 0.65711148
1 ; 2	A4	23.92	14.55	50.31	50.06	36644.4456 0.65275923
1 ; 2	A5	22.77	14.66	50.16	50.92	37443.798 0.60811139
1 ; 2	A6	24.79	14.51	50.14	50.19	36514.801 0.67890278
1 ; 2	A7	22.66	14.35	51.07	50.14	36745.3246 0.61667709
1 ; 3	A1	25.37	14.7	50.08	50.63	37272.5909 0.68066103
1 ; 3	A2	26.36	14.73	50.03	50.73	37385.0626 0.70509445
1 ; 3	A3	28.2	14.71	50.01	50.37	37054.5444 0.76104026
1 ; 3	A4	23.38	14.65	50.09	51.17	37549.4926 0.6226449
1 ; 3	A5	25.23	14.86	51.05	50.08	37990.8382 0.66410748
1 ; 3	A6	24.31	14.82	50.9	50.2	37867.7676 0.64197077
1 ; 3	A7	21.85	14.92	50.27	50.26	37696.4274 0.57963053
1 ; 4	A1	24.43	14.78	50.13	50.91	37720.3085 0.64766172
1 ; 4	A2	22.74	14.52	50.13	49.87	36299.7546 0.62645052
1 ; 4	A3	23.64	14.54	49.96	50.46	36655.0725 0.6449312
1 ; 4	A4	21.75	14.51	50.61	50.26	36908.4863 0.58929537
1 ; 4	A5	24.09	14.43	50.1	50.77	36703.8161 0.65633502
1 ; 4	A6	24.42	14.7	50.04	54.94	40413.2047 0.60425794
1 ; 4	A7	24.86	14.57	50.04	50.62	36906.1713 0.67360008
1 ; 5	A1	24.46	14.42	50.15	50.93	36830.6916 0.66412003
1 ; 5	A2	26.05	14.45	49.75	50.07	35994.6971 0.72371772
1 ; 5	A3	25.59	14.48	50.16	50.54	36708.0511 0.69712227
1 ; 5	A4	24.01	14.38	49.78	50.01	35798.9784 0.67068953
1 ; 5	A5	21.79	14.36	49.74	50.21	35863.3159 0.60758464
1 ; 5	A6	22.28	14.36	49.72	49.97	35677.5406 0.62448251
1 ; 5	A7	20.84	14.29	50.35	49.97	35953.49 0.57963775



## ANEXO 5

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN A LAS DOS HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Absorción - 2 horas  
The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 100  
Absorción - 2 horas

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Pr > F				
Model	1	4172.37559	4172.37559	14.21
0.0003				
Error	98	28775.50111	293.62756	
Corrected Total	99	32947.87670		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.126636	23.07454	17.13556	74.26177

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value
Pr > F				
T	1	4172.375586	4172.375586	14.21
0.0003				

## ANEXO 6

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ABSORCIÓN A LAS 2 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Absorción - 2 horas

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	98
Error Mean Square	293.6276

Number of Means	2
Critical Range	6.801

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	80.721	50	HO
B	67.802	50	HE

Absorción - 2 horas

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	98
Error Mean Square	293.6276
Critical Value of Studentized Range	2.80646
Minimum Significant Difference	6.801

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	80.721	50	HO
B	67.802	50	HE

## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN A LAS 24 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Absorción - 24 horas  
The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 100  
Absorción - 24 horas

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Squares	Sum of Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	4078.24278	4078.24278	11.80	0.0009
Error	98	33867.35610	345.58527		
Corrected Total	99	37945.59887			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.107476	23.08061	18.58992	80.54348

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	4078.242776	4078.242776	11.80	0.0009

## ANEXO 8

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ABSORCIÓN A LAS 24 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Absorción - 24 horas

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	98
Error Mean Square	345.5853

Number of Means	2
Critical Range	7.378

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	86.930	50	HO
B	74.157	50	HE

Absorción - 24 horas

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	98
Error Mean Square	345.5853
Critical Value of Studentized Range	2.80646
Minimum Significant Difference	7.3782

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	86.930	50	HO
B	74.157	50	HE

## ANEXO 9

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE HINCHAMIENTO A LAS 2 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Hinchamiento - 2 horas(90 OBSERV)  
The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 90  
Hinchamiento - 2 horas(90 OBSERV)

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	114.3859057	114.3859057	47.03	<.0001
Error	88	214.0342400	2.4322073		
Corrected Total	89	328.4201457			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.348291	15.60326	1.559554	9.995047

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	114.3859057	114.3859057	47.03	<.0001

## ANEXO 10

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE HINCHAMIENTO A LAS 2 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Hinchamiento - 2 horas(90 OBSERV)

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	88
Error Mean Square	2.432207
Harmonic Mean of Cell Sizes	44.44444

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2
Critical Range	.6575

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	11.0034	50	HE

B	8.7346	40	HO
---	--------	----	----

Hinchamiento - 2 horas(90 OBSERV)

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	88
Error Mean Square	2.432207
Critical Value of Studentized Range	2.81045
Minimum Significant Difference	0.6575
Harmonic Mean of Cell Sizes	44.44444

NOTE: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	11.0034	50	HE

B	8.7346	40	HO
---	--------	----	----

## ANEXO 11

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Hinchamiento - 24 horas  
The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO
Number of observations		90
Hinchamiento - 24 horas		

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	80.9936553	80.9936553	29.05	<.0001
Error	88	245.3238457	2.7877710		
Corrected Total	89	326.3175010			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.248205	14.51854	1.669662	11.50021

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	80.99365533	80.99365533	29.05	<.0001

## ANEXO 12

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

Hinchamiento - 24 horas

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	88
Error Mean Square	2.787771
Harmonic Mean of Cell Sizes	44.44444

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2
Critical Range	.7039

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	12.3487	50	HE
B	10.4396	40	HO

Hinchamiento - 24 horas

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	88
Error Mean Square	2.787771
Critical Value of Studentized Range	2.81045
Minimum Significant Difference	0.7039
Harmonic Mean of Cell Sizes	44.44444

NOTE: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	12.3487	50	HE
B	10.4396	40	HO

## ANEXO 13

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE DENSIDAD, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

DENSIDAD

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 70  
DENSIDAD

The ANOVA Procedure  
Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	0.00100663	0.00100663	0.28	0.5995
Error	68	0.24589076	0.00361604		
Corrected Total	69	0.24689739			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.004077	9.635449	0.060134	0.624086

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	0.00100663	0.00100663	0.28	0.5995

## ANEXO 14

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DENSIDAD PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

DENSIDAD

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	68
Error Mean Square	0.003616

Number of Means	2
Critical Range	.02869

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	0.62788	35	HE
A			
A	0.62029	35	HO

DENSIDAD

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	68
Error Mean Square	0.003616
Critical Value of Studentized Range	2.82212
Minimum Significant Difference	0.0287

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	0.62788	35	HE
A			
A	0.62029	35	HO

## ANEXO 15

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE TRACCIÓN PERPENDICULAR, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

TRACCION PERPENDICULAR

The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 54

TRACCION PERPENDICULAR

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	2.94047042	2.94047042	6.98	0.0108
Error	52	21.89423039	0.42104289		
Corrected Total	53	24.83470081			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.118402	38.19968	0.648878	1.698648

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	2.94047042	2.94047042	6.98	0.0108

## ANEXO 16

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

#### TRACCION PERPENDICULAR

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	52
Error Mean Square	0.421043

Number of Means	2
Critical Range	.3544

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	1.9320	27	HE
B	1.4653	27	HO

#### TRACCION PERPENDICULAR

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	52
Error Mean Square	0.421043
Critical Value of Studentized Range	2.83789
Minimum Significant Difference	0.3544

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	1.9320	27	HE
B	1.4653	27	HO

## ANEXO 17

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE FLEXIÓN ESTÁTICA, PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

FLEXION ESTATICA  
The ANOVA Procedure  
Class Level Information

Class	Levels	Values
T	2	HE HO

Number of observations 45  
FLEXION ESTATICA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	1	1664.54208	1664.54208	2.22	0.1438
Error	43	32284.87413	750.81103		
Corrected Total	44	33949.41621			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.049030	32.29079	27.40093	84.85680

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
T	1	1664.542081	1664.542081	2.22	0.1438

## ANEXO 18

### PRUEBA DE TUKEY Y PRUEBA DE DUNCAN EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FLEXIÓN ESTÁTICA PARA TABLEROS DE PARTÍCULAS ELABORADOS CON BAMBÚ

FLEXION ESTATICA  
The ANOVA Procedure  
Duncan's Multiple Range Test for Y

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	43
Error Mean Square	750.811
Harmonic Mean of Cell Sizes	22.22222

NOTE: Cell sizes are not equal.

Number of Means	2
Critical Range	16.58

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	90.297	25	HE
A	78.057	20	HO

FLEXION ESTATICA  
The ANOVA Procedure  
Tukey's Studentized Range (HSD) Test for Y

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	43
Error Mean Square	750.811
Critical Value of Studentized Range	2.85208
Minimum Significant Difference	16.578
Harmonic Mean of Cell Sizes	22.22222

NOTE: Cell sizes are not equal.

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	T
A	90.297	25	HE
A			
A	78.057	20	HO

## ANEXO 19

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS HOMOGÉNEOS Y ESTRATIFICADOS

Código	Tracción perp.(Kg/cm2)		Módulo de rotura(Kg/cm2)	
	Homogéneo	Estratificado	Homogéneo	Estratificado
A1	0.181	1.733	15.12	58.97
A2	0.181	1.814	15.12	80.14
A3	0.200	2.068	25.70	75.60
A4	0.218	1.279	26.46	105.84
A5	0.163	1.27	34.02	105.84
A6	0.181	0.544	23.28	
A7	0.181	1.497		
Promedio	<b>0.187</b>	<b>1.458</b>	<b>23.28</b>	<b>85.28</b>
B1	0.835	0.907	45.36	68.04
B2	2.041	0.508	65.77	83.16
B3	1.905	0.508	87.70	98.28
B4	1.814	0.181	75.60	113.40
B5	1.633	0.181	84.67	133.06
B6	1.651	0.181		
B7	1.542	0.236		
Promedio	<b>1.632</b>	<b>0.386</b>	<b>71.82</b>	<b>99.19</b>
C1	1.152	1.633	60.48	68.04
C2	1.687	1.597	81.65	83.16
C3	1.96	1.125	83.16	68.04
C4	1.098	2.359	86.18	98.28
C5	1.225	2.041	80.14	75.60
C6	1.678	1.905		
C7	1.025	1.724		
Promedio	<b>1.404</b>	<b>1.769</b>	<b>78.32</b>	<b>78.62</b>
D1	0.726	1.678	71.82	75.60
D2	0.925	1.823	94.50	105.84
D3	0.816	2.359	30.24	75.60
D4	1.089	2.903	39.31	90.72
D5	0.943	2.232	72.58	113.40
D6	1.306	1.588		
D7	1.325	1.325		
Promedio	<b>1.019</b>	<b>1.987</b>	<b>61.69</b>	<b>92.23</b>
E1	2.159	1.452	61.99	98.28
E2	3.302	0.916	90.72	98.28
E3	2.141	3.647	211.68	111.89
E4	1.452	3.701	68.04	83.16
E5	0.816	2.631	69.55	89.21
E6	0.816	2.84		
E7	1.334			
Promedio	<b>1.717</b>	<b>2.531</b>	<b>100.40</b>	<b>96.16</b>

## ANEXO 20

### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DENSIDAD DE TABLEROS HOMOGÉNEOS

Código	peso inicial	Espesor	largo	Ancho	v	Densidad
1 ; 1	21.39	14.56	50.08	50.08	36516.57	0.586
1 ; 1	17.33	14.64	51.78	50.01	37,910.54	0.457
1 ; 1	18.24	14.5	51.43	49.83	37,159.98	0.491
1 ; 1	22.24	14.54	49.93	50.06	36,342.67	0.612
1 ; 1	20.67	14.55	50.9	50.24	37,207.49	0.556
1 ; 1	19.94	14.53	45.5	50.12	33,135.08	0.602
1 ; 1	18.36	14.53	51.64	49.96	37,486.45	0.490
<b>Tablero 1</b>	<b>19.74</b>	<b>14.55</b>	<b>50.18</b>	<b>50.04</b>	<b>36536.97</b>	<b>0.542</b>
1 ; 2	20.61	14.65	51.52	50.28	37949.74	0.543
1 ; 2	25.46	14.51	51.22	50.19	37301.32	0.683
1 ; 2	24.29	14.53	50.04	50.84	36964.81	0.657
1 ; 2	23.92	14.55	50.31	50.06	36644.45	0.653
1 ; 2	22.77	14.66	50.16	50.92	37443.80	0.608
1 ; 2	24.79	14.51	50.14	50.19	36514.80	0.679
1 ; 2	22.66	14.35	51.07	50.14	36745.32	0.617
<b>Tablero 2</b>	<b>23.50</b>	<b>50.35</b>	<b>50.20</b>	<b>36793.90</b>	<b>36810.24</b>	<b>0.634</b>
1 ; 3	25.37	14.7	50.08	50.63	37272.59	0.681
1 ; 3	26.36	14.73	50.03	50.73	37385.06	0.705
1 ; 3	28.20	14.71	50.01	50.37	37054.54	0.761
1 ; 3	23.38	14.65	50.09	51.17	37549.49	0.623
1 ; 3	25.23	14.86	51.05	50.08	37990.84	0.664
1 ; 3	24.31	14.82	50.9	50.2	37867.77	0.642
1 ; 3	21.85	14.92	50.27	50.26	37696.43	0.580
<b>Tablero 3</b>	<b>24.96</b>	<b>14.77</b>	<b>50.35</b>	<b>50.49</b>	<b>37545.25</b>	<b>0.665</b>
1 ; 4	24.43	14.78	50.13	50.91	37720.31	0.648
1 ; 4	22.74	14.52	50.13	49.87	36299.75	0.626
1 ; 4	23.64	14.54	49.96	50.46	36655.07	0.645
1 ; 4	21.75	14.51	50.61	50.26	36908.49	0.589
1 ; 4	24.09	14.43	50.1	50.77	36703.82	0.656
1 ; 4	24.42	14.7	50.04	54.94	40413.20	0.604
1 ; 4	24.86	14.57	50.04	50.62	36906.17	0.674
<b>Tablero 4</b>	<b>23.70</b>	<b>14.58</b>	<b>50.14</b>	<b>51.12</b>	<b>37372.40</b>	<b>0.635</b>
1 ; 5	24.46	14.42	50.15	50.93	36830.69	0.664
1 ; 5	26.05	14.45	49.75	50.07	35994.70	0.724
1 ; 5	25.59	14.48	50.16	50.54	36708.05	0.697
1 ; 5	24.01	14.38	49.78	50.01	35798.98	0.671
1 ; 5	21.79	14.36	49.74	50.21	35863.32	0.608
1 ; 5	22.28	14.36	49.72	49.97	35677.54	0.624
1 ; 5	20.84	14.29	50.35	49.97	35953.49	0.580
<b>Tablero 5</b>	<b>23.57</b>	<b>14.39</b>	<b>49.95</b>	<b>50.24</b>	<b>36118.11</b>	<b>0.652</b>

## ANEXO 21

### RESULTADOS EXPERIMENTALES DE DENSIDAD DE TABLEROS ESTRATIFICADOS

Código	peso inicial	Espesor	Largo	Ancho	v	densidad
2 ; 1	22.0g	14.5	50.04	49.75	36097.61	0.609
2 ; 1	23.2	14.45	50.06	50.16	36284.09	0.639
2 ; 1	24.23	14.44	50.07	50.01	36157.77	0.670
2 ; 1	23.22	14.36	50.19	50.02	36050.83	0.644
2 ; 1	20.79	14.48	50.12	50.2	36432.03	0.571
2 ; 1	20.08	14.19	50.18	50.81	36179.47	0.555
2 ; 1	23.55	14.54	49.87	49.98	36240.99	0.650
	<b>22.44g</b>	<b>14.42286</b>	<b>50.0757143</b>	<b>50.1328571</b>	<b>36206.11</b>	<b>0.620</b>
2 ; 2	21.68	14.51	50.28	51.2	37353.62	0.580
2 ; 2	22.1	14.51	50.15	50.12	36471.15	0.606
2 ; 2	23.56	14.4	50.04	50.85	36641.29	0.643
2 ; 2	21.6	14.55	50.07	50.55	36826.61	0.587
2 ; 2	22.13	14.5	50.02	50	36264.50	0.610
2 ; 2	23.61	14.38	49.96	51.29	36848.01	0.641
2 ; 2	22.35	14.58	51.13	50.19	37415.41	0.597
	<b>22.43</b>	<b>14.49</b>	<b>50.2357143</b>	<b>50.6</b>	<b>36831.51</b>	<b>0.609</b>
2 ; 3	23.13	14.41	50.12	51.62	37281.47	0.620
2 ; 3	21.47	14.28	50.19	50.42	36136.68	0.594
2 ; 3	21.87	14.31	48.88	50.23	35134.52	0.622
2 ; 3	23.28	14.24	50.01	51.88	36945.95	0.630
2 ; 3	24.21	14.3	51.74	50.07	37045.89	0.654
2 ; 3	23.36	14.2	51.49	50.03	36579.83	0.639
2 ; 3	22.74	14.99	50.01	51.36	38502.02	0.591
	<b>22.87</b>	<b>14.39</b>	<b>50.35</b>	<b>50.80</b>	<b>36803.77</b>	<b>0.621</b>
2 ; 4	21.89	14.34	49.85	51.09	36521.64	0.599
2 ; 4	23.1	14.35	50.05	50.41	36205.34	0.638
2 ; 4	23.29	14.15	50.22	50.00	35530.65	0.655
2 ; 4	25.15	14.17	50.61	50.06	35900.21	0.701
2 ; 4	24.44	14.22	50.99	50.09	36319.15	0.673
2 ; 4	24.93	14.18	50.06	49.98	35478.34	0.703
2 ; 4	20.81	14.03	49.84	50.17	35081.63	0.593
	<b>23.37</b>	<b>14.21</b>	<b>50.23</b>	<b>50.26</b>	<b>35862.42</b>	<b>0.652</b>
2 ; 5	21.12	14.2	50.08	50.5	35912.37	0.588
2 ; 5	21.76	14.36	50.09	50.42	36266.72	0.600
2 ; 5	23.86	14.26	50.1	49.8	35578.41	0.671
2 ; 5	22.46	14.31	50.19	49.84	35796.03	0.627
2 ; 5	22.78	14.11	49.97	50.02	35267.94	0.646
2 ; 5	24.07	13.59	49.35	49.4	33130.93	0.727
2 ; 5	21.31	14.11	50.2	49.95	35380.68	0.602
	<b>22.48</b>	<b>14.13429</b>	<b>49.9971429</b>	<b>49.99</b>	<b>35333.30</b>	<b>0.637</b>

## ANEXO 22

### CÁLCULO DE INSUMOS NECESARIOS PARA TABLEROS ESTRATIFICADOS

peso resina solida	peso cola liquida	peso mat al (15%)	cálculo de cantidad de catalizador
132.4675325	285.6381156	1675.714286	13.24675325

peso resina solida	peso cola liquida	peso del mat al(15%)	cálculo de cantidad de catalizador
44.15584416	95.21270518	558.5714286	4.415584416

peso resina solida	peso cola liquida	peso del mat al(15%)	cálculo de cantidad de catalizador
88.31168831	190.4254104	1117.142857	8.831168831