

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA
DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE
MEDIANA DENSIDAD ELABORADOS
CON RESIDUOS DE MADERA DE
MARUPA (Simarouba amara)
PROVENIENTE DE LA PLANTACIÓN
DE JENARO HERRERA Y BOSQUE
NATURAL**

Tesis para optar el Título de

INGENIERO FORESTAL

Marco Antonio Tello Cochachez

Lima – Perú

2006

RESUMEN

Se analiza, la influencia de la edad de la madera de 16 y 27 años proveniente de la plantación de Jenaro Herrera y bosque natural, sobre las características tecnológicas de tableros de partículas de mediana densidad elaborados con residuos de la transformación mecánica secundaria. Para ello, se evaluaron las propiedades mecánicas y físicas: flexión, tracción, densidad, hinchamiento y absorción; siguiendo la metodología de las Normas DIN.

Los residuos de la transformación secundaria de la madera de Marupa, se produjeron en el laboratorio de trabajabilidad de la madera del departamento de Industrias Forestales. Estos residuos, se redimensionaron en un molino de aspas para obtener partículas con Coeficiente de esbeltez de 70. Las partículas se tamizaron y llevaron a un horno de secado para disminuir el contenido de humedad hasta un $4 \pm 1\%$.

Seguidamente, se encolaron con Ureaformaldehído a un 8% de resinosidad acompañado de un catalizador al 8% en base al peso sólido de la cola y agua. El encolado se realizó mediante pulverización, utilizando para ello una pistola pulverizadora de 2 atm. de presión. Se elaboraron tableros homogéneos de 40 cm. x 40 cm. x 1.2 cm. Y densidad de 0.68 g/cm^3 . Las condiciones de prensado fueron de 12 minutos totales, temperatura de $140^\circ \text{ C} \pm 10^\circ \text{ C}$ y presión manométrica de 40 Kg./cm^2 .

Resultado de los ensayos, se encontró concordancia con la teoría respecto al comportamiento de los tableros de partículas al ser elaborados con madera de baja densidad; sin embargo no cumplieron las exigencias de las normas DIN en ningún ensayo.

La calidad de los tableros elaborados, refleja la mala distribución de la resina sobre las partículas y un deficiente curado en la prensa de platos calientes. Se recomienda para futuros estudios similares, poner mayor durante el encolado y mejorar el control de la temperatura en los platos de la prensa.

De otro lado, se debe hacer investigaciones previas sobre la anatomía de la madera a utilizar para la elaboración de los tableros, ya que la presencia de inclusiones, permeabilidad de la madera y el estado de lignificación de las células influyen en la absorción de la cola y el grado de compactación que pueden soportar las partículas, sin deteriorar sus células.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE	VI
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 SUBPRODUCTOS INDUSTRIALES.....	3
2.2 GENERALIDADES DE LA ESPECIE MÁRUPA.....	3
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PROPIEDAD DEL TABLERO.....	4
2.3.1 <i>La Especie y su Densidad</i>	4
2.3.2 <i>Geometría de las partículas</i>	6
2.3.3 <i>Características de los adhesivos</i>	8
2.3.4 <i>Encolado de las partículas</i>	9
2.3.5 <i>Prensado con temperatura</i>	10
2.4 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS.....	12
2.4.1 <i>Resistencia a la flexión</i>	12
2.4.2 <i>Resistencia a la tracción</i>	13
2.4.3 <i>Estabilidad Dimensional</i>	13
2.5 EDAD.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.....	16
3.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	16
3.2.1 <i>Especie</i>	16
3.2.2 <i>Insumos</i>	17
3.2.3 <i>Equipos e instrumentos</i>	17
3.3 METODOLOGÍA.....	18
3.3.1 <i>Preparación del tablero</i>	19
3.3.2 <i>Evaluación de los tableros</i>	24
3.3.3 <i>Diseño estadístico</i>	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 DEL TABLERO.....	29
4.1.1 <i>Geometría de las partículas</i>	29
4.1.2 <i>Densidad de los tableros</i>	30
4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	32
4.2.1 <i>Resistencia a la flexión: Módulo de ruptura (MOR)</i>	32
4.2.2 <i>Resistencia a la tracción</i>	35
4.3 ESTABILIDAD DIMENSIONAL.....	37
4.3.1 <i>Hinchamiento</i>	37
4.3.2 <i>Absorción de agua</i>	41
5. CONCLUSIONES.....	46
6. RECOMENDACIONES.....	48
ANEXO 1.....	52

CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE INSUMOS Y MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DE PARTÍCULAS	52
ANEXO 2	53
VALORES DE ESPESOR, LONGITUD Y COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LAS PARTÍCULAS PRODUCIDAS LUEGO DEL ASTILLADO Y TAMIZADO.....	53
ANEXO 3	54
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS COEFICIENTES DE ESBELTEZ DE LAS PARTÍCULAS PERTENECIENTES A UNA PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL	54
ANEXO 4	55
RESULTADO OBTENIDO EN LAS PROBETAS EVALUADAS PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LOS TABLEROS (G/CM ³) ELABORADOS CON RESIDUOS DE MADERA DE MARUPA DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL.....	55
ANEXO 5	56
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON PARTÍCULAS DE MADERA DE MARUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.....	56
ANEXO 6	57
PRUEBA DE TUKEY PARA COMPARACIONES PAREADAS DE DENSIDAD DE LOS TABLEROS POR NIVELES DE EDADES ESTUDIADOS	57
ANEXO 7	58
RESULTADO OBTENIDO EN LAS PROBETAS EVALUADAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (KG/CM ²) EN LOS TABLEROS ELABORADOS CON RESIDUOS DE MADERA DE MARUPA DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL	58
ANEXO 8	59
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (MOR) DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON PARTÍCULAS DE MÁRUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL	59
ANEXO 9	60
RESULTADO OBTENIDO EN LAS PROBETAS EVALUADAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (KG/CM ²) EN LOS TABLEROS ELABORADOS CON RESIDUOS DE MADERA DE MARUPA DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL	60
ANEXO 10	61
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN LOS TABLEROS FABRICADOS CON PARTÍCULAS DE MADERA DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL	61
ANEXO 11	62
RESULTADO OBTENIDO EN LAS PROBETAS EVALUADAS PARA EL CÁLCULO DE HINCHAMIENTO (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON RESIDUOS DE MADERA DE MARUPA DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL	62
ANEXO 12	64
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL HINCHAMIENTO (%) A LAS 2 Y 24 HORAS EN LOS TABLEROS FABRICADOS CON PARTÍCULAS DE MADERA DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL	64
ANEXO 13	65
PRUEBA DE TUKEY PARA COMPARACIONES PAREADAS DE HINCHAMIENTO A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA DE LOS TABLEROS POR NIVELES DE EDADES ESTUDIADOS	65
ANEXO 14	67

RESULTADO OBTENIDO EN LAS PROBETAS EVALUADAS PARA EL CÁLCULO DE ABSORCIÓN DE AGUA (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA EN LOS TABLEROS ELABORADOS CON RESIDUOS DE MADERA DE MARUPA DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL	67
ANEXO 15	69
ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN DE AGUA (%) A LAS 2 Y 24 HORAS EN LOS TABLEROS FABRICADOS CON PARTÍCULAS DE MADERA DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL	69
ANEXO 16	70
PRUEBA DE TUKEY PARA COMPARACIONES PAREADAS DE ABSORCIÓN DE AGUA A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA DE LOS TABLEROS POR NIVELES DE EDADES ESTUDIADOS	70

Lista de cuadros

Página

CUADRO 1	FRECUENCIAS, PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DEL COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA DE LA EDAD DE 16 AÑOS, 27 AÑOS Y BOSQUE NATURAL EMPLEADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS.	29
CUADRO 2	PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DE LAS PROBETAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD (G/CM^3) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE MÁRUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.	30
CUADRO 3	PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DE LAS PROBETAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (KG/CM^2) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE MÁRUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.	33
CUADRO 4	PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DE LAS PROBETAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (KG/CM^2) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE MÁRUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.	35
CUADRO 5	PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DE LAS PROBETAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE HINCHAMIENTO (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN EL AGUA DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE MARUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.	38
CUADRO 6	PROMEDIOS Y COEFICIENTES DE VARIABILIDAD DE LAS PROBETAS EMPLEADAS PARA EL CÁLCULO DE ABSORCIÓN DE AGUA (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN EN EL AGUA PARA LOS TABLEROS ELABORADOS CON PARTÍCULAS DE MÁRUPA PROVENIENTE DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL.	41

Lista de figuras

Página

FIGURA 1	RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD DE LA MADERA Y EL MÓDULO DE RUPTURA.	5
FIGURA 2	EFFECTO DE LA DENSIDAD DE LA MADERA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL TABLERO CON VIRUTAS Y FLAKES (50 X 50%).....	6
FIGURA 3	EFFECTO DE LA RELACIÓN DE ESBELTEZ SOBRE EL MÓDULO DE RUPTURA, PROPIEDADES DIMENSIONALES Y ABSORCIÓN DE AGUA DE TABLEROS DE DOUGLAS-FIR.	8
FIGURA 4	GARLOPA GENERADORA DE LOS RESIDUOS DE MADERA UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS.	20
FIGURA 5	CEPILLADORA GENERADORA DE LOS RESIDUOS DE MADERA UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS TABLEROS.	20
FIGURA 6	MOLINO DE ASPAS UTILIZADAS PARA EL DIMENSIONADO DE LAS PARTÍCULAS A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MADERA.	21
FIGURA 7	MALLA N° 1 EMPLEADA EN EL MOLINO DE ASPAS.....	21
FIGURA 8	PRENSA DE PLATOS CALIENTES HORNA MACCHINE	23
FIGURA 9	DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS EN LOS TABLEROS ELABORADOS PARA LOS ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS.	26
FIGURA 10	FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	27
FIGURA 11	FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO DE HINCHAMIENTO A LAS 2 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA.	28
FIGURA 12	FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO DE HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA.	28
FIGURA 13	RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD DE LOS TABLEROS Y LAS EDADES DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA.	31
FIGURA 14	RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE RUPTURA DE LOS TABLEROS Y LAS EDADES DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA.....	34
FIGURA 15	RELACIÓN ENTRE LA CARGA UNITARIA DE LOS TABLEROS Y LAS EDADES DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA.	36
FIGURA 16	RELACIÓN ENTRE EL HINCHAMIENTO (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN DE LOS TABLEROS Y LAS EDADES DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA.	39
FIGURA 17	RELACIÓN ENTRE LA ABSORCIÓN DE AGUA (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE INMERSIÓN DE LOS TABLEROS Y LAS EDADES DE LAS PARTÍCULAS DE MADERA.	43

1. INTRODUCCIÓN

De la producción mundial maderable, aproximadamente el 5,62% de 1,54 millones de m³ de madera rolliza industrial es destinada a la fabricación de tableros aglomerados (OIMT 2000), esta es una razón que incentiva estudios dedicados a optimizar la utilización de los residuos industriales maderables.

Dentro de la industria maderera, la elaboración de tableros aglomerados ha incrementado la alternativa de uso tanto de maderas residuales de aprovechamiento forestal como de la transformación de la madera. Así, se tiene que de 775 millones de m³ de madera rolliza de producción mundial (1998), dependiendo de la especie y el producto final, aproximadamente el 60% genera residuos; por lo tanto el desarrollo de la industria del tablero aglomerado puede disminuir tal porcentaje, incrementando el rendimiento obtenido de la madera. Por este motivo, los países industrializados como Estados Unidos, Alemania, entre otros, están realizando constantes investigaciones para desarrollar e innovar técnicas en la producción de tableros a partir de residuos de transformación primaria de la madera.

En los países en desarrollo como el Perú, pese a tener una fuente importante de recursos como son los bosques tropicales y algunas plantaciones, existe muy poca información sobre la óptima utilización de los residuos provenientes de la transformación de la madera. De otro lado, la industria del tablero aglomerado no ha tenido mayor desarrollo en nuestro país, debido principalmente la falta de investigación en cuanto a especies aptas para el abastecimiento continuo de la materia prima que garantice una óptima producción de acuerdo a la capacidad instalada de la planta.

La especie Marupa (*Simarouba amara*) que se distribuye en la selva baja amazónica está concentrada en la Región de Loreto, siendo esta uno de los centros productores de madera del país. Los residuos de transformación primaria de esta especie pueden servir como materia prima para la elaboración de tableros de partículas.

La presente investigación pretende analizar el comportamiento físico-mecánico de los tableros de partículas homogéneos de mediana densidad elaborados con residuos producidos

por las operaciones de garlopeado y cepillado de la especie Márupa (*Simarouba amara*) de 16 y 27 años provenientes de las plantaciones de Jenaro Herrera y de madera comercial provenientes de bosque natural. Los resultados del presente trabajo de investigación contribuirán a generar información sobre el uso de esta especie.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SUBPRODUCTOS INDUSTRIALES

El aporte de la industria de transformación primaria para la industria de tableros de partículas puede dividirse en desechos de aserraderos y desechos de otras industrias (Moslemi 1974a)

Se estima que en las plantas de transformación durante el proceso de aserrío de las trozas, un 50 a 60% es considerado desecho de aserradero; así también, en las industrias de contrachapados se genera residuos que deben ser consideradas materia prima de buena calidad para la elaboración de tableros de partículas en sus diferentes características.

En cuanto a la incorporación de residuos de aserraderos en tableros de partículas, sólo se utilizan, cantoneras y material de despunte. El aserrín y virutas de cepillado no son utilizados, por ser muy pequeños, siendo más adecuados para tableros de fibras; sin embargo, puede incorporarse satisfactoriamente hasta en un 50 % de la capa media (Poblete 1979). Según (Ginzler y Peraza 1966) este material presenta el inconveniente de que normalmente, exige una mayor cantidad de adhesivo.

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 (Kollmann 1984)

2.2 GENERALIDADES DE LA ESPECIE MÁRUPA

Referente a la especie en estudio, (Arostegui 1974) señala que su distribución geográfica comprende las regiones de Centro y Sudamérica Tropical dentro de la formación ecológica

del bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), generalmente asociada con *Jacarandá* sp. , *Sclerolobium* sp. , *Laetia* sp. y *Cenatteria* sp.

El mismo autor señala que esta especie pertenece a la familia SIMAROUBACEAE, constituida por individuos que alcanzan alturas totales entre 24 y 39 metros, dominantes, con diámetros entre 0,45 y 0,90 metros. El fuste es de buena forma, sin aletas, cilíndrico, de ahusamiento pronunciado y sin ramas hasta más o menos las dos terceras partes de su altura.

En cuanto a las características organolépticas de la madera de esta especie (Arostegui 1974), indica que es de lustre medio, textura media y uniforme, sabor amargo y grano generalmente recto. El duramen cuando esta recién cortado es de color crema, frecuentemente con un tinte amarillo o verdusco; cuando se seca se vuelve blancuzco o blanco amarillento. No se observan diferencias aparentes entre albura y duramen.

Entre las propiedades físicas y mecánicas, (Arostegui 1982) señala que la especie pertenece a un grupo de maderas de densidad ($0,36 \text{ g/cm}^3$) y contracción volumétrica (8,6 %) bajas, buenas para el trabajo con máquinas de carpintería; por otro lado, su resistencia mecánica en flexión estática (MOR), comprensión paralela (RM), comprensión perpendicular (ELP), dureza y cizallamiento, se clasifica como madera de baja resistencia mecánica.

(OIMT/CNF/INRENA 1999) indican que el secado de esta especie es fácil y requiere de un programa intermedio, presentando defectos ligeros como: agrietamientos en los extremos de las tablillas. La madera es susceptible al ataque de hongos cromógenos (mancha azul). Es de fácil trabajabilidad y es usado en cajonería, almas de muebles, gavetas, tacones de zapatos, pulpa para papel y palos para fósforos.

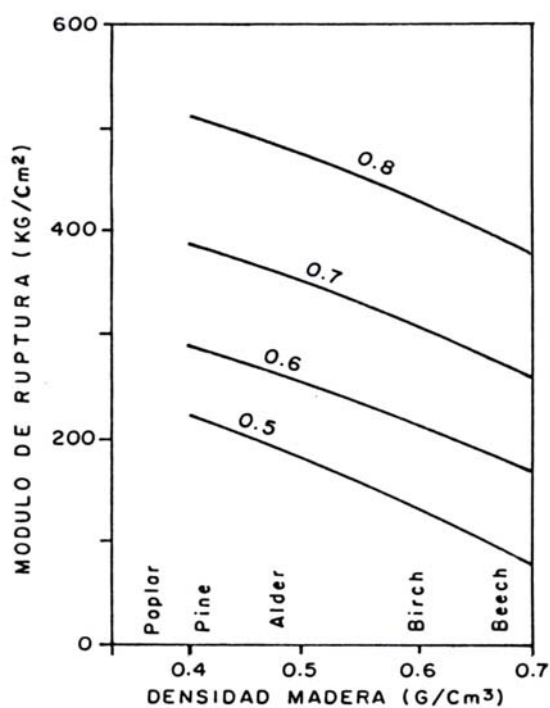
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PROPIEDAD DEL TABLERO

2.3.1 LA ESPECIE Y SU DENSIDAD

(Maloney 1977), indica que de todos 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 influyen en la gravedad específica del tablero, la formulación de la resina y la humedad del tablero.

(Moslemi 1974 a), agrega que entre las características inherentes a la especie deben destacarse la influencia de la densidad de la madera, ph, humedad y contenido de extractivos, señalando la de mayor importancia a la densidad de la madera. De tal modo que para una misma densidad de tablero se obtienen mejores valores de módulo de ruptura (MOR) cuando se trabaja con partículas de maderas de menor densidad. La figura 1 muestra tal afirmación.



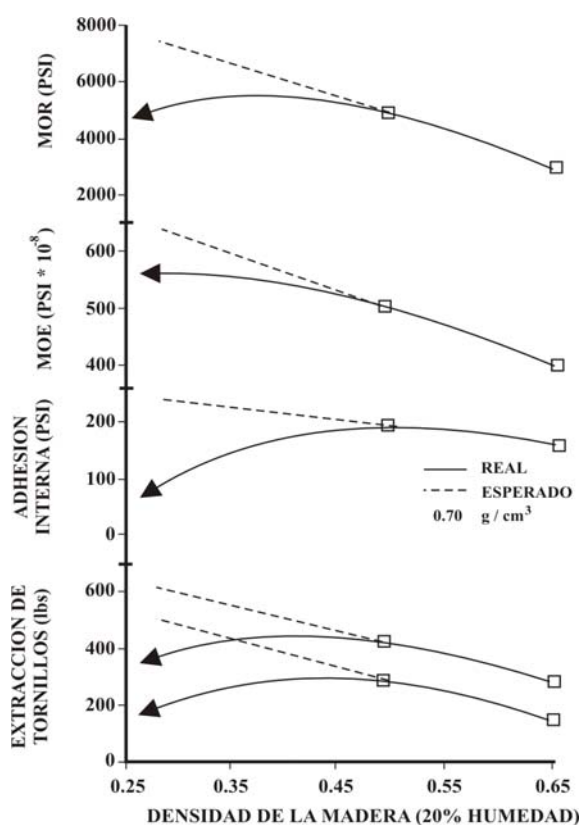
Fuente: Moslemi (1974 a)

Figura 1 Relación entre la densidad de la madera y el módulo de ruptura.

Sin embargo, (Cruz 1976) en sus trabajos con mezclas de viruta de cepillado y virutas tipo flake (1:1), encontró que en maderas de baja densidad el comportamiento es diferente, es decir, los tableros producidos presentan menores valores de resistencia mecánica, señalando

que debe existir un rango de densidad dentro de los cuales se cumple lo mencionado por Moslemi (figura 2).

Por ello, (Maloney 1977) señala que se prefiere rangos de densidad entre 0.30 a 0.50 g/cm³ por su mejor comportamiento a la compactación.



Fuente: Cruz (1976)

Figura 2 Efecto de la densidad de la madera sobre las propiedades del tablero con virutas y flakes (50 x 50%)

2.3.2 GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

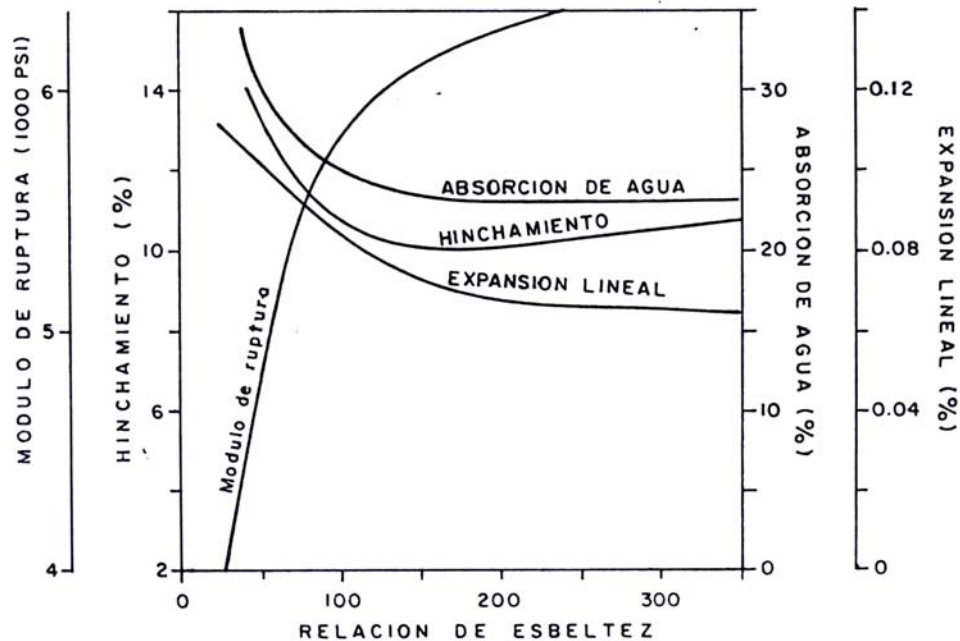
Es importante conocer la relación que existe entre el tamaño de partículas y las propiedades de los tableros, ya que se pueden cambiar las propiedades de los paneles con sólo cambiar las características geométricas de las virutas, como su longitud y espesor.

Según (Poblete 1979), una partícula de forma óptima corresponde a un elemento plano cortado paralelamente a la dirección de las fibras, cuya relación entre longitud y espesor afecta la buena transmisión de la resistencia de la madera al tablero. De este modo, 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 virutas favorece la tracción, disminuyendo simultáneamente la flexión (Poblete 1985).

Por otro lado (Ginzel y Peraza 1966), explica como la forma y el tamaño de las partículas influye en la superficie encolable. Esto significa una mayor superficie de encolado al disminuir el tamaño de la partícula, obteniéndose para una misma cantidad de adhesivo un encolado defectuoso o insuficiente. Otro factor negativo es la superficie rugosa del material que disminuye el área de contacto entre “los gránulos”.

En (Ginzel y Peraza 1966), Klauditz indicó que al estudiar el efecto del tamaño de las partículas sobre las propiedades mecánicas de los tableros, éstas se hacen mediante la relación longitud/espesor denominándolo “coeficiente de esbeltez”.

El valor óptimo del coeficiente de esbeltez para obtener las propiedades físico-mecánicas adecuadas ha sido estudiado por diferentes investigadores, cada uno de los cuales entrega como óptimos, valores diferentes. (Moslemi 1974a) afirma que el coeficiente debe variar entre 120 a 200. (Ginzel y Peraza 1966) menciona como valores entre 60 y 120, aunque para el caso de las capas externas puede variar entre 33 y 200 y, entre 20 y 66 para capas internas. Por otro lado, (Heebink et. al. 1964) afirma que una relación de esbeltez de $1''/0,15''$ es la óptima; finalmente (Brumbaugh 1960) trabajando con Douglas-fir (pino oregón) concluye que las óptimas relaciones longitud-espesor varían de 150 a 250. En la figura 3 se aprecia el efecto que tiene la relación de esbeltez en las propiedades físicas – mecánicas de los tableros.



Fuente: Brumbaugh, J. 1980

Figura 3 Efecto de la relación de esbeltez sobre el módulo de ruptura, propiedades dimensionales y absorción de agua de tableros de Douglas-Fir.

2.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS ADHESIVOS

Referente a este tema (Moslemi 1974a), indica que actualmente los elementos aglomerantes utilizados en la fabricación de tableros de partículas, corresponden a productos sintéticos derivados principalmente del petróleo; éstas corresponden a los polímeros de urea-formaldehído y fenol-formaldehído. El de más uso industrial es la urea formaldehído por su bajo costo, versatilidad y facilidad de aplicación.

Según (Poblete 1979), los adhesivos de urea-formaldehído son formulados para fraguados en altas temperaturas y para temperatura ambiente, correspondiendo su formulación a copolímeros de urea y formaldehído que por cambios de estructura y eliminación del medio portador, generalmente agua, producen el fraguado. Es común la aplicación de catalizadores a los adhesivos ureicos, ya que el fraguado es acelerado cuando ocurre en un medio ácido. Los adhesivos de urea-formaldehído cuya formulación es de fraguado a alta temperatura,

requieren temperaturas entre 120 y 160° C, debiendo mantenerse ésta hasta que el centro del tablero haya alcanzado 100° C.

El contenido de sólidos de la resina y la temperatura de aplicación tiene pocos efectos en la fuerza y estabilidad de los tableros. Generalmente, los mejores resultados se obtienen con altos contenidos de sólidos y temperatura ambiente. La viscosidad, el cual esta directamente relacionada al contenido de sólidos y la temperatura, tiene ligeros efectos en las propiedades, aún cuando cambios drásticos se hacen al reducir la viscosidad. (Lehmann 1965).

2.3.4 ENCOLADO DE LAS PARTÍCULAS

El factor más importante en la fuerza y estabilidad de los tableros es la distribución de la resina. Una fina atomización y un adecuado período de aplicación son los factores más importantes para controlar la optima distribución de la resina; produciendo así tableros de alta calidad (Lehmann 1965).

Estudios realizadas por Kelly, (1977) afirman que durante el encolado las virutas se mantienen en agitación, produciendo con ello el total recubrimiento de las virutas con una delgada película de cola. Esta película va a depender del sistema de inyección usado, así como el tamaño de las partículas. Otro efecto durante el encolado es el aumento del contenido de humedad de las virutas, puesto que las resinas se aplican mediante aspersion de emulsiones en soluciones acuosas (Moslemi 1974b).

Por otro lado (Moslemi 1974b), señala que para las mismas cantidades de resina aplicada, la disponibilidad de resina por unidad de área de partículas está en función de su área superficial específica, o sea, una superficie más densa presentará menor área superficial específica y, por tanto, la mayor disponibilidad de resina por unidad de área de partículas.

Para Maloney (1977) el nivel de resina aplicado a las partículas, ya sea en base a su peso anhidro o en base a la superficie específica depende del tipo de resina usado. Cuando se emplea ureaformaldehído, normalmente la aplicación se hace en soluciones acuosas, concentradas entre 40 y 70 %, aplicándose en rangos de humedad entre 4 y 6 % y, en niveles que varían entre 6 y 10 % en base al peso anhidro de las virutas.

Actualmente la mayoría de las fábricas encolan las partículas mediante la pulverización, este sistema permite que las partículas estén en contacto unas con otras, repartiendo la cola mediante la dispersión que sufren en las pulverizaciones de aire a presión; de esta forma las gotitas de cola se adhieren a la superficie de las partículas, constituyendo una película uniforme y continua. (Ginzel y Peraza 1966). Por lo tanto, el uso de virutas homogéneas asegura un encolado uniforme.

Finalmente mejorando el método de suministro y distribución de la resina se puede obtener un mejor producto al que se está fabricando sin incrementar el contenido de resina, con el cual se incrementaría la calidad sin incremento del costo del tablero (Lehmann 1965).

2.3.5 PRENSADO CON TEMPERATURA.

En este punto se debe tener en cuenta el contenido de humedad del colchón, la velocidad de cierre de la prensa, el tiempo de prensado y la temperatura; siendo éstas las condiciones de prensado más significativas que afectan las propiedades del tablero (Kelly 1977). El mismo autor señala que en la operación de prensado se consolida a la partícula de madera al espesor deseado y polimeriza el sistema de encolado entre las partículas individuales; la primera función elimina mucho de los vacíos de las planchas y comprime las estructuras de la madera, la última función asegura la retención de una masa sólida cuando se quita la presión.

(Maloney 1977) indica que si el contenido de humedad del colchón es más alto que el convencional, los problemas de delaminación aumentan, debido a la mayor presión que ejerce el vapor en el pegamento, afectando la polimerización del adhesivo. Para contrarrestar los problemas de delaminación, es necesario prolongar el tiempo de prensado de los tableros.

Añadiendo (Kelly 1977), indica que el contenido de humedad actúa directamente sobre la resistencia de la madera a la compresión, la cual en presencia de una temperatura alta se torna en un material plástico y por lo tanto ofrecerá menor resistencia a la compactación. Entre tanto un excesivo contenido de humedad interfiere en la reacción química de polimerización de la resina especialmente en las capas más internas. El mismo autor señala que el contenido de humedad óptimo se encuentra entre 11 y 15 %.

La velocidad de cierre de la prensa afecta las propiedades de los tableros y están vinculadas al gradiente de densidad vertical (Moslemi 1974b).

El gradiente de densidad vertical indica que la densidad de un panel no es uniforme en la dirección del espesor (vertical), ya que depende de la configuración de las partículas, distribución de la humedad del material que entra a la prensa, tasas de cierre de la prensa, temperatura de la prensa caliente, reactividad de la resina y la resistencia a la compresividad de las partículas. Finalmente, la densidad vertical incrementa significativamente la resistencia al curvamiento, mientras que la resistencia a la tensión perpendicular son adversamente afectadas (Kelly 1977).

Durante la operación de prensado el colchón de partículas o “Mat” se transforma en un tablero sólido de espesor predeterminado, para ello requiere de un adecuado contacto entre las partículas por densificación del “Mat” y una buena transferencia de calor para alcanzar la temperatura de la línea de cola a un nivel en el cual la resina se fragua (Suchsland 1967).

Al respecto (Pinto y Poblete 1992), durante el prensado la parte central del tablero es la última en recibir el máximo de temperatura, siendo esta zona la que está menos tiempo bajo su efecto y en ella el fraguado del adhesivo se da en las peores condiciones.

El tiempo de prensado mínimo de un tablero depende principalmente de la transferencia de calor, el cual varía con el espesor, tiempo de prensado, velocidad de cierre y la distribución de la humedad del colchón. Cuando una alta presión interna está involucrada, necesariamente el tiempo de prensado prevendrá las “bolsas de aire” dependiendo de los factores como el tipo de resina, temperatura de la prensa y el contenido de humedad total (Lehmann y Hefty 1973).

Zavala, citado por (Monteza 1997), indica que el tiempo óptimo de prensado para lograr una adhesión adecuada de las partículas, se debe determinar en función de la reactividad o adhesión del pegamento y la presión interna de vapor.

La función básica de la temperatura en el prensado de tableros de partículas es polimerizar el adhesivo y densificar el material al espesor deseado. La densificación se produce por el contacto entre las partículas; mientras se eleva la temperatura de los platos, disminuye la

tensión superficial de los adhesivos, facilitando la penetración de éste en la madera (Moslemi 1974b).

(Maloney 1977), la aplicación de presión y temperatura no sólo acelera el fraguado, sino que logra mejorar la eficiencia del adhesivo, lo que permite que se puedan aplicar menores cantidades.

(Moslemi 1974b), la temperatura de prensado no debe ser superior a 210°C, ya que por sobre esta temperatura se pueden producir cambios de estructura en la madera y que, en todo caso la temperatura de prensado debe ser inferior a 130°C. (Poblete 1979), recomienda temperaturas de prensado entre 135°C a 160°C para adhesivos fenólicos, y 120°C para adhesivos ureicos, debiendo mantenerse esta temperatura durante un tiempo de dos a tres minutos.

2.4 PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS

2.4.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

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

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

(Kelly 1977) y (Poblete 1985); una disminución del espesor y un aumento simultáneo del largo, de las partículas se traduce en un aumento de la resistencia a la flexión. Por otro lado (Maloney 1977) y (Poblete 1989), concuerdan que el aumento del contenido de adhesivo mejora la resistencia a la flexión.

Tableros prensados bajos alta razón de compresión (densidad del tablero: densidad de la especie), (1,6:1,0) muestran altos módulos de rotura y elasticidad que los paneles hechos con bajas razones de compresión (1,2:1,0) en la misma densidad del tablero. (Vital et. al., 1974).

Sin embargo, indicar que la resistencia a la flexión aumenta linealmente en función de la densidad del tablero, no es una conclusión que deba tomarse como valedera, si no se especifican las condiciones de otros parámetros, como configuración de las partículas, especies, densidad del material y, cantidad de resina, así como el contenido de humedad a que fueron prensadas las virutas (Kelly 1977).

2.4.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Un tablero de partículas con adhesivo adecuadamente curado normalmente fallará 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 el nivel de resina; sin embargo no basta con aumentar el nivel 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 más efectiva la atomización fina (Kelly 1977).

(Kollmann 1984) indica que la porosidad de la capa interior tiene influencia negativa en los ensayos de tracción, para reducir la porosidad es necesario utilizar partículas más delgadas y finas en dicha capa.

(Poblete 1979), la resistencia a la tracción perpendicular al plano aumenta al incrementarse el contenido de partículas finas y cortas en el centro del tablero elaborados con partículas de pinus radiata. Sus resultados coinciden con los de otras investigaciones en las que, las partículas con bajos valores de coeficiente de esbeltez tienden a ofrecer gran resistencia a la fuerza de tracción.

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 o en la fabricación de muebles o en productos que requieran estabilidad. La capacidad de resistir la

acción de la humedad, manteniendo las dimensiones originales confiere mayor calidad al producto.

(Ginzler y Peraza 1966) respecto a este punto indican que el tablero de partículas es higroscópico y dimensionalmente inestable al ser expuesto al agua. También indican que la magnitud de los cambios dimensionales, especialmente en espesor, supera a los registrados en madera sólida y representan inconvenientes para sus aplicaciones. Además mencionan que al tener los tableros de partículas como principal componente a la madera, es lógico que tengan las características típicas de ésta, en especial la de su hinchamiento por absorción de agua aún cuando se utilizan hidrófobos.

(Vital et. al. 1974), en un estudio preliminar manifiesta que no hay una relación lineal entre el hinchamiento en espesor y la densidad del tablero, sin embargo, como una conclusión general de su investigación, sostiene que un incremento en la densidad del tablero causa un decremento en el hinchamiento en espesor, y este último es directamente proporcional a la absorción de agua.

El hinchamiento en espesor tiene dos componentes que afectan el cambio dimensional: el actual hinchamiento de la madera y la fuerza de compresión que se desarrolla durante la compactación del Mat o colchón (Vital y Wilson 1980). Los mismos autores, indican que la absorción de agua está en función de la humedad relativa, tipo de resina y la gravedad específica del tablero. Un incremento en la gravedad específica del tablero generalmente disminuye la absorción de agua, pero tales incrementos tienen menos efectos en humedades relativas altas. Finalmente, según sus estudios, afirman que la absorción de agua es más sensible a cambios en partículas con espesores de 0,15 y 0,30 mm; incrementos más pequeños ocurren con partículas delgadas.

(Moslemi 1974a); afirma que el hinchamiento en espesor de tableros hechos con madera de menor densidad, para una misma densidad de tablero, es mayor. Esto se debe al mayor grado de compactación que presentan las partículas de madera.

Finalmente, (Berterreche, Poblete y Niemz 1995) con relación a las propiedades físicas, no existe claridad en cuanto al efecto de agregar un material de menores dimensiones; existen resultados contradictorios al respecto.

2.5 EDAD

En este punto no hay muchos estudios que informen sobre la influencia de la edad en la elaboración de tableros de partículas, así (Durán 1982) citado por Acevedo (1983); utilizó la *Gmelina arborea* de 7 años proveniente de plantaciones de la Reserva Forestal de Caparo y probó que era posible producir tableros de partículas de buena calidad con urea formaldehído pero tuvo dificultades con el tiempo de fraguado el cual fue excesivo. (Vilela 1973), citado por Acevedo, estudio en *Pinus caribaea* de 5, 10 y 15 años las propiedades físico mecánicas, demostrando que éstos se incrementan al aumentar la edad.

(Acevedo 1983) observó que los efectos de la edad sobre las propiedades de las partículas de la Melina son diversos, donde a mayor edad aumenta la densidad y el contenido de solubles en alcohol-benceno. El ph, la capacidad de buferización y los tiempos de prensado no siguen un patrón definido, pero en todos los casos el análisis de varianza confirma que el efecto de la edad sobre las características mencionadas es altamente significativo. Añade además, que los tableros de partículas elaborados con partículas de Melina de 7 años presentan propiedades de resistencia mecánica y estabilidad dimensional que satisfacen los requerimientos exigidos por las normas DIN.

Por todo lo expuesto, en este estudio se analizara la calidad del tablero considerando la influencia de la edad de la especie proveniente de una plantación y de un bosque natural, manteniendo constante las demás variables que influyen en la elaboración del tablero (geometría de las partículas, tipo de adhesivo, encolado, prensado, entre otros.)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Paneles, en el taller de Trabajabilidad, en el laboratorio de Ensayos Tecnológicos y en el laboratorio de Transformación química del Departamento de Industrias Forestales perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 ESPECIE

Se utilizaron residuos de la madera de Márupa (*Simarouba amara*) producto de la transformación secundaria obtenido por el corte periférico, ésta especie proviene de la plantación de Jenaro Herrera (Iquitos) de 16 y 27 años; y de madera comercial proveniente de bosque natural (Iquitos).

La madera proveniente de Jenaro Herrera, se desarrolló en una plantación a campo abierto con una topografía de tipo terraza alta, en suelos como franco-arenoso y franco-arcilloso. Cabe destacar que la especie de 16 años tuvo un adecuado mantenimiento (desmalezamiento individual, raleo sanitario y raleo selectivo) desde su plantación hasta el momento de ser cortado; mientras que la especie de 27 años, además de estar acompañada con tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), en sus primeros diez años no tuvo ningún tipo de mantenimiento, sufriendo una concurrencia interespecífica.

La identificación anatómica de la madera se realizó en el laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales. La determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera se realizó previamente en el trabajo de tesis desarrollado por la Ing. Francis R. Patiño G. (2002) ejecutado mediante el convenio existente entre el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y la Universidad Agraria la Molina (UNALM), dando como resultado:

Madera de Márupa	Densidad Básica (g/cm³)	Contracción Volumétrica (%)	MOR (Kg/cm²)	Tracción Perpendicular (Kg/cm²)
16 años *	0	6,08	374	27,58
27 años *	0	6,43	391	26,02
Bosque natural **	0	9,4	534	32

* *Datos experimentales*

** *Datos teóricos en condición seca*

3.2.2 INSUMOS

- Resina UF-603, con un 51 % de contenido de sólidos.
- Catalizador Cloruro de amonio (ClNH₄).
- Agua.
- Parafina.
- Resina epóxica.
- Otros.

3.2.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Garlopa.
- Cepilladura.
- Molino de aspas.
- Malla N° 1.
- Tamiz de 1 mm. de abertura.
- Estufa eléctrica MEMMERT.
- Bandejas de aluminio.

- Compresora de 2 atm. de presión.
- Pistola pulverizadora.
- Formador manual.
- Prensa de platos calientes HORMA MACCHINE.
- Topes de 12 mm. de espesor.
- Placas metálicas.
- Cronómetro.
- Sierras circular y radial.
- Cinta métrica metálica.
- Etiquetas codificadoras.
- Calibrador de velocidad MITUTOYO.
- Prensa de ensayos tecnológicos TINIUS OLSEN.
- Balanza analítica (aproximación $\pm 0,1$ g.).
- Vernier digital.
- Equipo de cómputo.

3.3 METODOLOGÍA

La siguiente metodología sigue los pasos mencionados por Ginzel y Peraza (1966); así como las investigaciones realizadas por Reyes (1992) y Maldonado (1992), asemejándose en lo posible a los pasos seguidos por la industria.

3.3.1 PREPARACIÓN DEL TABLERO

A) *BALANCE DE INSUMOS Y MATERIALES*

El primer paso para elaborar los tableros de partículas fue el cálculo de las cantidades de los insumos y materiales empleados en la fabricación de dicho panel. En el anexo A-1, se aprecia con detalle las cantidades utilizadas.

B) *OBTENCIÓN DE LA PARTÍCULA*

El material de desecho proviene de la transformación mecánica de la madera Márupa, garlopeado y cepillado, lo cual permitió tener virutas de espesor uniforme, plano y en dirección del grano; esto generó partículas tipo flake. (Mottet 1954). En la figura 4 y 5 se aprecian los equipos utilizados en este punto.

Obtenido la viruta se procedió a extenderlos sobre el piso del laboratorio de trabajabilidad para exponerlos a un pre secado, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 18 %.

Seguidamente las virutas pasaron por el molino de aspas con malla N° 1 (figura 6 y 7), donde se redujo en ancho y largo. Se empleo la malla N° 1 porque no sólo permitió obtener partículas con dimensiones adecuadas para la fabricación de los tableros, sino también que dicha malla generó la menor proporción de polvillo.

C) *TAMIZADO*

Las partículas obtenidas en la operación anterior presentaban aún un porcentaje de polvillo, estas tenían que ser eliminadas debido a que aumentan el área superficial del encolado. Para ello se realizó el tamizado en una malla de 1 mm. de abertura, esta acción duró aproximadamente de 5 a 10 minutos de tal manera que se disminuyo la proporción de polvillo y se homogenizaron las partículas.

A continuación se tomaron muestras de las partículas para determinar su coeficiente de esbeltez, obteniéndose el valor promedio de 70.

D) *SECADO*

Con el objeto de disminuir el contenido de humedad del material, hasta obtener valores de $4 \pm 1\%$, se procedió a secar las partículas a una temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ en la estufa

eléctrica Memmert ubicada en el laboratorio de Paneles; para ello, antes se pesó la cantidad requerida para la elaboración de un tablero en bandejas y se introdujo a la estufa, haciendo controles constantes para obtener el contenido de humedad final deseado.



Figura 4 Garlopa generadora de los residuos de madera utilizados para la elaboración de los tableros.



Figura 5 Cepilladora generadora de los residuos de madera utilizados para la elaboración de los tableros.

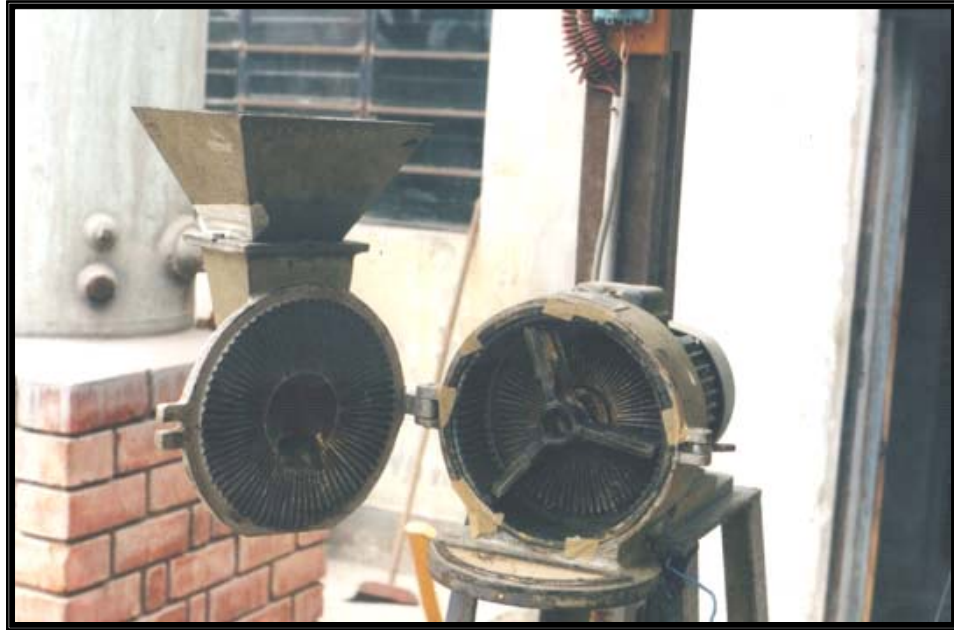


Figura 6 Molino de aspas utilizadas para el dimensionado de las partículas a partir de los residuos de madera.

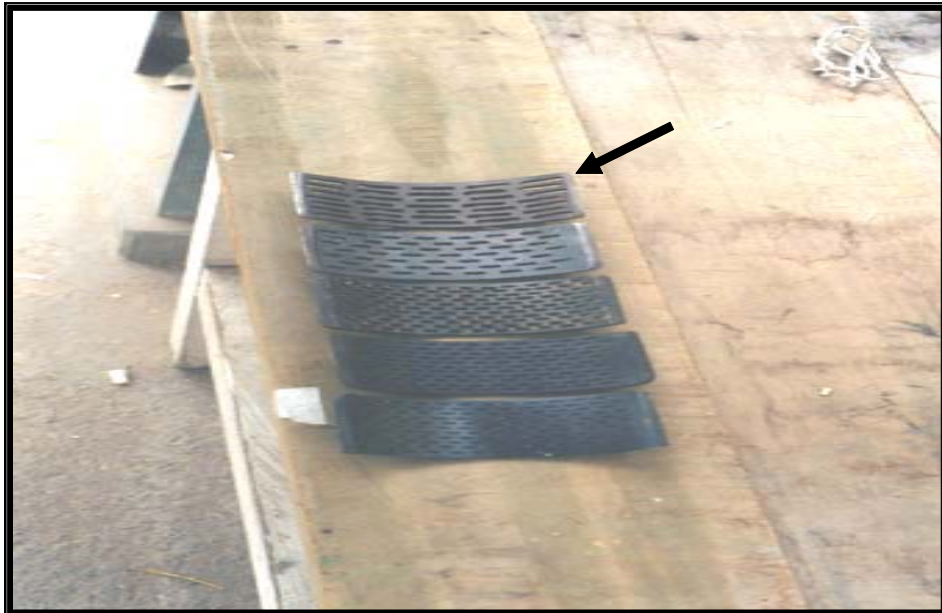


Figura 7 Malla N° 1 empleada en el molino de aspas.

E) FABRICACIÓN DEL TABLERO

➤ Características del tablero

Se elaboraron tableros homogéneos.

Medidas	:	Largo	:	40 cm.
---		Ancho	:	40 cm.
---		Espesor	:	1,2 cm.
Densidad	:			0,68 g / cm ³
CH	:			12 %
Resinosidad	:			8 %
Catalizador	:			8 % en base al peso sólido de la cola

➤ Encolado

Una vez secado las partículas estas se encolaron por pulverización, para lo cual se empleo una pistola pulverizadora de 2 atm. de presión, manteniendo las partículas en un constante movimiento manual, de tal manera que se consiguiera esparcir bien la resina formando una delgada capa sobre su superficie.

Para ello se utilizó una mezcla de resina Urea formaldehído, Cloruro de amonio como catalizador y agua; todo ello calculado para la elaboración del tablero.

➤ Formación del “Mat” o colchón

Las partículas encoladas se vertieron sobre el formador manual, distribuyéndolo uniformemente sobre la superficie del formador.

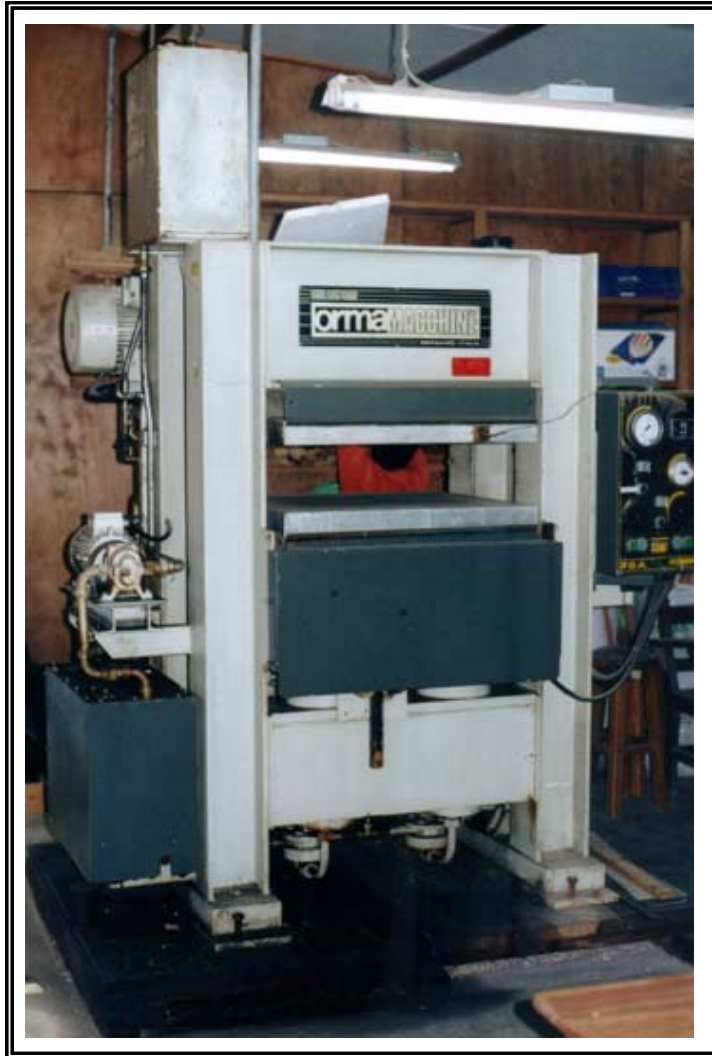


Figura 8 Prensa de platos calientes HORNA MACCHINE

Luego se aplicó un pre prensado manual por 5 minutos, formándose así el colchón antes de ser prensado en caliente, con un contenido de humedad teórico de 15 %.

➤ Prensado en caliente

El colchón formado se ubica entre unas placas metálicas untadas con parafina para evitar que se queden adheridas a ellas, luego se colocan los topes que darán el espesor deseado al tablero; todo esto se lleva a la prensa de platos calientes (figura 8). La temperatura empleada fue de 140 °C, presión manométrica de 40 Kg/cm² y el tiempo total de prensado 12 minutos.

➤ Acondicionamiento del tablero

Finalmente se retira el tablero de la prensa, se quitan las placas metálicas, se lijan y escuadran los cantos, se codifican y se coloca en un lugar con buena circulación de aire para su climatización.

La cantidad total de tableros elaborados se muestra a continuación:

<i>Material</i>	<i>N° de tableros</i>
Viruta (16 años de edad)	3
Viruta (27 años de edad)	3
Viruta (madera comercia)	3

3.3.2 EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS

Para determinar las propiedades mecánicas y estabilidad dimensional de los tableros elaborados, se realizaron ensayos bajo las condiciones de las normas DIN; tal como se aprecia a continuación:

Metodología de las Normas DIN

ENSAYO	Norma DIN	METODOLOGÍA
1. Resistencia a la flexión	52362	Para la determinación del MOR: - Se utilizan probetas de 50 mm. de ancho y una longitud total de: $L_s + 50$ mm.; donde L_s es la longitud de la luz y será igual a 250 mm. - La velocidad de ensayo esta dado por: $(\text{espesor} / 2)$ mm / min.
2. Resistencia a la tracción	52365	- Para este ensayo se requieren probetas de 50 mm x 50 mm x espesor en mm.
3. Hinchamiento y Absorción de agua	52364	- En este ensayo se utilizan probetas de 25mm. x 25mm. x espesor en mm, producidas con una precisión de $\pm 0,1$ mm. La cantidad total de probetas es de 10 por tablero. - El espesor debe ser medido en el centro de la probeta con una precisión de $\pm 0,01$ mm. - La inmersión de las probetas se realiza en agua a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), impidiendo la flotación de las mismas mediante un peso; las probetas deben de estar completamente sumergidas. La determinación del hinchamiento y absorción se determinará después de 2 horas (q_2); además se puede determinar los mismos ensayos después de 24 horas de inmersión dejando las probetas en el agua por 22 horas adicionales (q_{24})
4. Densidad	52361	- En este ensayo se requieren probetas de 50mm x 50mm x espesor en mm.

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros se optó por utilizar la distribución de probetas esquematizadas en la figura 9. Con ello es posible distribuir, delimitar e individualizar las probetas en las mismas formas y medidas, para cada tipo de ensayo. Por otro lado las cantidades y dimensiones de las probetas por tablero son como siguen:

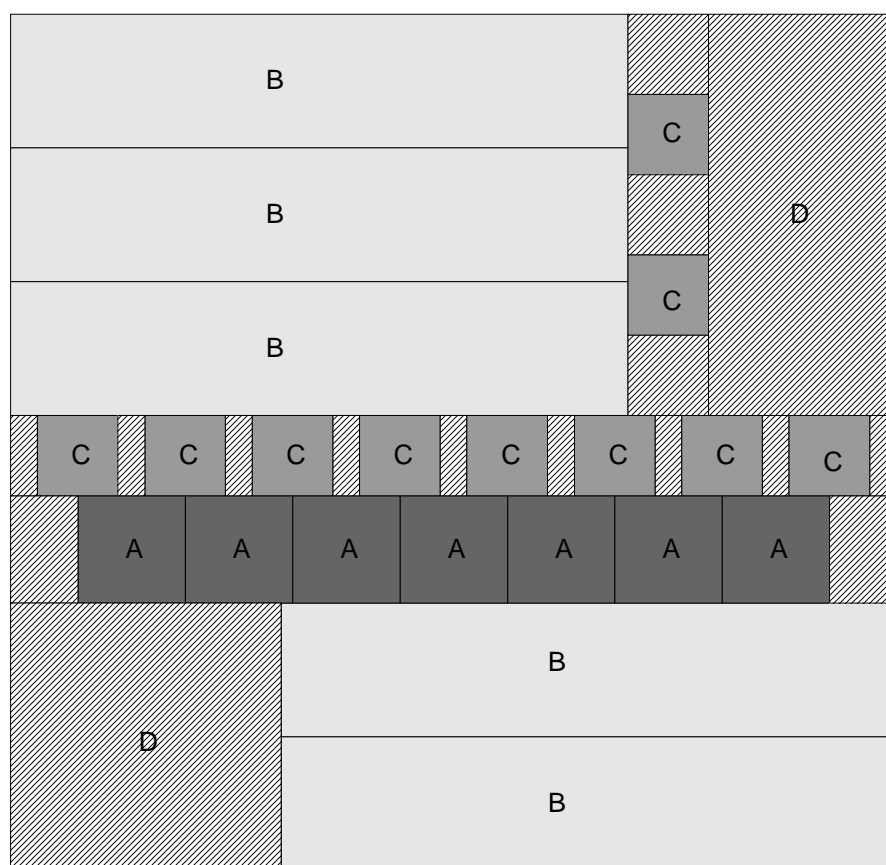
ENSAYO	N° de Probetas / Ensayo / tablero	Total de probetas / edad	DIMENSIONES (mm)
Resistencia a la flexión	5	15	12 x 50 x 300
Resistencia a la tracción y densidad	7	21	12 x 50 x 50
Hinchamiento y Absorción de agua	10	30	12 x 25 x 25
Densidad del tablero	7	21	12 x 50 x 50

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

Los ensayos mecánicos (resistencia a la flexión) y los físicos (hinchamiento %) a las 2 y 24 horas, se pueden apreciar en las figuras 10, 11 y 12.

3.3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos sobre la influencia que tiene la edad de la especie en la elaboración de tableros de partículas fueron evaluados estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA); realizándose la prueba de comparación de Tukey entre edades para cada tipo de ensayo.



- A: Probetas para el ensayo de Resistencia a la Tracción y Densidad
- B: Probetas para el ensayo de Resistencia a la Flexión
- C: Probetas para el ensayo de Hinchamiento y Absorción de agua
- D: Restantes del tablero

Figura 9 Distribución de probetas en los tableros elaborados para los ensayos físicos y mecánicos.

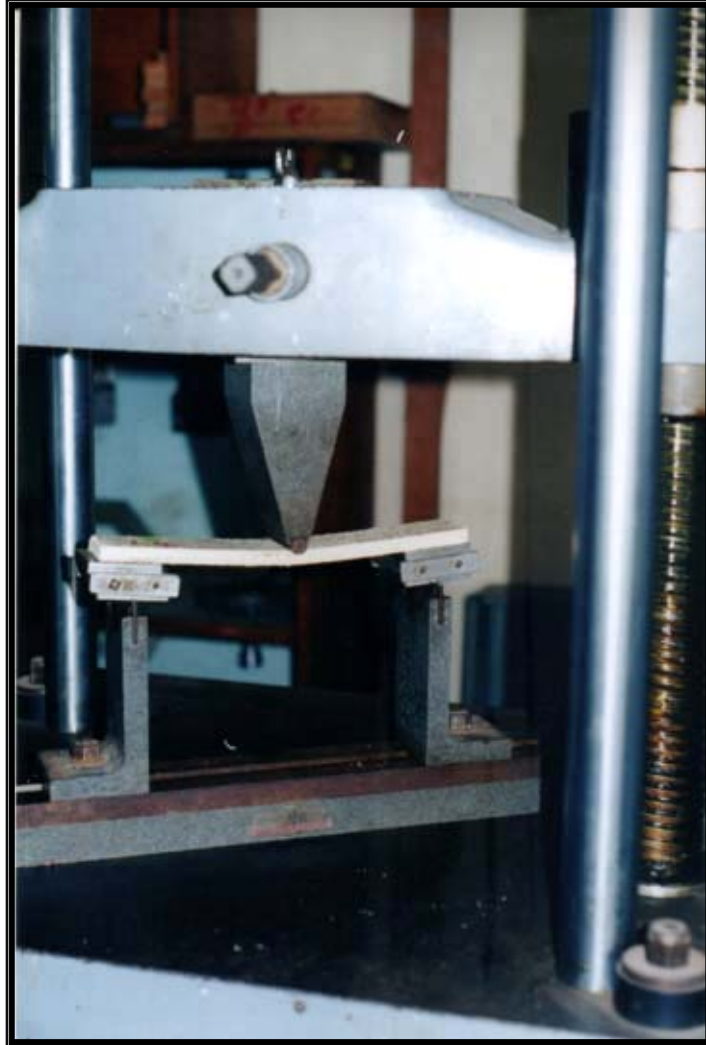


Figura 10 Fotografía del ensayo de resistencia a la flexión.

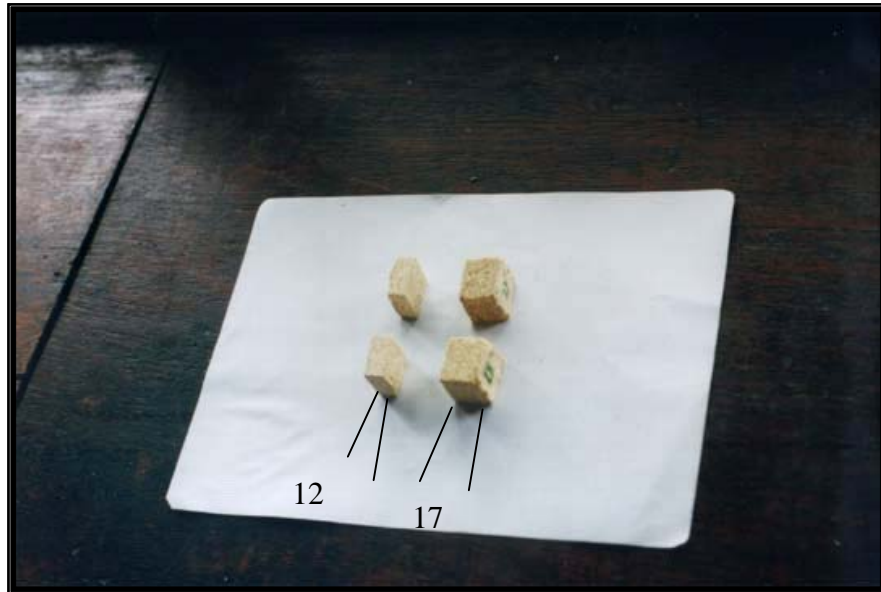


Figura 11 Fotografía del ensayo de hinchamiento a las 2 horas de inmersión en agua.

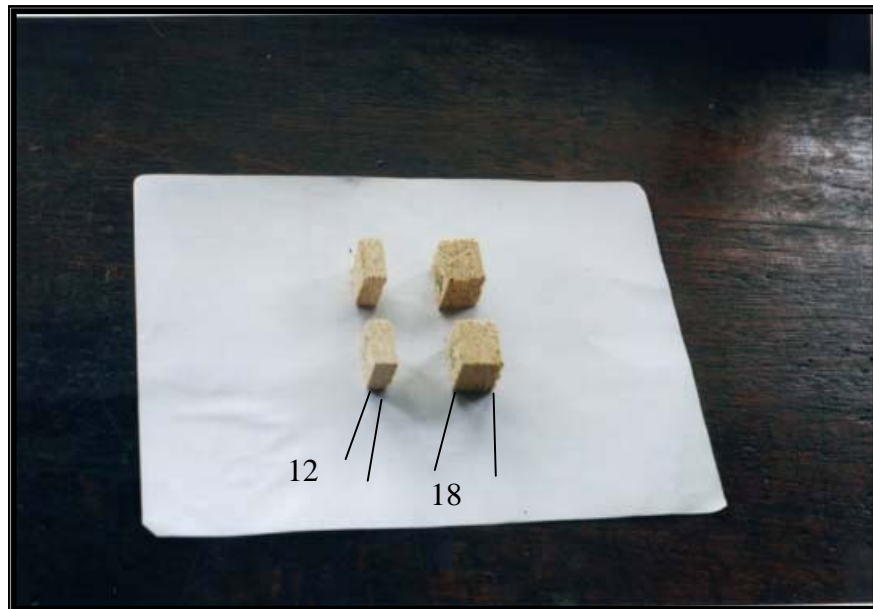


Figura 12 Fotografía del ensayo de hinchamiento a las 24 horas de inmersión en agua.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DEL TABLERO

4.1.1 GEOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

Los valores de espesor, longitud y coeficiente de esbeltez de las partículas producidas luego del astillado y tamizado de los residuos del garlopeado y cepillado de la madera de Márupa de 16 años, 27 años y bosque natural; se muestran en el anexo A-2.

El cuadro 1 presenta las frecuencias, promedios y coeficientes de variabilidad del coeficiente de esbeltez de las partículas de madera de las diferentes edades empleadas para la elaboración de los tableros.

Cuadro 1 Frecuencias, promedios y coeficientes de variabilidad del Coeficiente de esbeltez de las partículas de madera de la edad de 16 años, 27 años y bosque natural empleadas para la elaboración de los tableros.

<i>Edad</i>	<i>Rango CE</i>	<i>Fr. Abs.</i>	<i>Fr. Rel.</i>	<i>Fr. %</i>	<i>Promedio CE</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>C.V. (%)</i>
16	< 60	2	0,067	6,67	73	11,85	16,23
	[60 - 80]	19	0,633	63,33			
	> 80	9	0,300	30,00			
27	< 60	0	0,000	0,00	69	5,31	7,70
	[60 - 80]	29	0,967	96,67			
	> 80	1	0,033	3,33			
BN	< 60	1	0,033	3,33	69	5,87	8,51
	[60 - 80]	28	0,933	93,33			
	> 80	1	0,033	3,33			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en el anexo A-2 y cuadro 1, los valores de coeficiente de esbeltez para la edad de 16 años se presentan con mayor frecuencia entre el rango de 60 a 80, siendo el promedio de 73 con una variabilidad relativamente alta; para la edad de 27 años la mayor frecuencia se encuentra entre el rango de 60 a 80, siendo el promedio de 69 con una

homogeneidad alta de los datos; y para las partículas de la madera de bosque natural la mayor frecuencia se encuentra entre 60 a 80, siendo el promedio 69 con una homogeneidad alta de los datos. Los promedios de coeficiente de esbeltez obtenidos se encuentran dentro del rango recomendado por Ginzel y Peraza (1966); así como Heebink et al. (1964).

Al realizar el análisis de varianza de los coeficientes de esbeltez (anexo A-3), se encontró que no existen diferencias significativas entre las partículas obtenidas de las diferentes edades. Por lo tanto esta variable se considerará como constante para todos los tableros.

4.1.2 DENSIDAD DE LOS TABLEROS

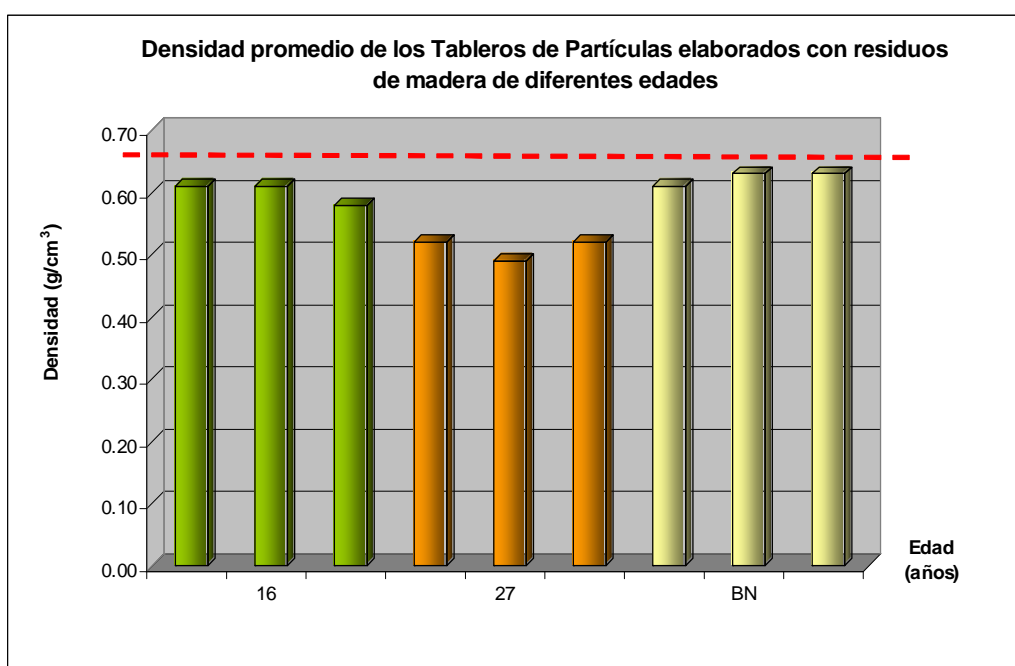
En el anexo A-4 se puede observar los valores obtenidos en las probetas evaluadas para el cálculo de la densidad de los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa proveniente de plantación y bosque natural. El cuadro 2 muestra los promedios y coeficientes de variabilidad de la densidad de los tableros elaborados con partículas de Marupa proveniente de plantación y bosque natural. La figura 13 grafica la relación que existe entre la densidad de los tableros y las edades de las partículas de madera.

Cuadro 2 Promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de la Densidad (g/cm^3) de los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural.

<i>Edad</i>	<i>Tablero</i>	<i>Densidad teórica (g/cm^3)</i>	<i>Densidad promedio obtenido (g/cm^3)</i>	<i>Densidad promedio por tablero (g/cm^3)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>CV (%)</i>
16	1	0,68	0,60	0,61	0,04	6,56
	2			0,61	0,02	3,28
	3			0,58	0,08	13,79
27	1	0,68	0,51	0,52	0,02	3,85
	2			0,49	0,01	2,04
	3			0,52	0,02	3,85
BN	1	0,68	0,62	0,61	0,06	9,84
	2			0,63	0,05	7,94
	3			0,63	0,05	7,94

Fuente: Elaboración propia

Del anexo A-4, cuadro 2 y figura 13, se observa que los valores de densidad obtenidos en las probetas de los tableros para 16 años varían entre 0,48 y 0,65 g/cm³, siendo el promedio de 0,60 g/cm³ presentando una variabilidad media; para los de 27 años varían entre 0,47 y 0,54 g/cm³, siendo el promedio 0,51 g/cm³ presentando una baja variabilidad; para los de bosque natural varían entre 0,53 y 0,68 g/cm³, siendo el promedio 0,62 g/cm³ presentando una mediana variabilidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Relación entre la densidad de los tableros y las edades de las partículas de madera.

Los tableros elaborados con residuos de bosque natural son los que obtuvieron los valores más altos de densidad de tablero; sin embargo no se acercan a la densidad teórica establecida que es de 0,68 g/cm³. Los tableros elaborados con residuos de 27 años obtuvieron el más bajo promedio de densidad del tablero con el más bajo coeficiente de variabilidad entre las probetas evaluadas.

Los valores de coeficiente de variabilidad obtenidos están dentro del rango establecido por (Calzada 1982), para este tipo de experimento. Por ello, se puede afirmar que el promedio de densidad de tablero obtenido para cada edad es una variable homogénea.

El análisis de varianza, es realizado para determinar la existencia de al menos un promedio que es diferente a los demás. Del Anexo A-5, se demuestra que existen diferencias altamente significativas entre las densidades de los tableros elaborados con partículas de madera de 16 años, 27 años y bosque natural. Para analizar este efecto se realizó el análisis de comparaciones pareadas entre la densidad promedio y los niveles de edad mediante la prueba de Tukey, a un nivel de confianza del 95 %.

El anexo A-6 demuestra que existen diferencias altamente significativas entre las densidades de los tableros de 16 y 27 años y entre los de 27 años y bosque natural; mientras que no hay diferencias entre los tableros de 16 años y bosque natural. Este comportamiento se aprecia en el cuadro 2 donde los promedios obtenidos de la densidad de los tableros de 16 años y bosque natural son casi similares y en ambos casos presentan variabilidad media.

Por lo tanto, puede afirmarse que al incrementarse la edad de la especie en una plantación, y por ende la densidad de su madera, la densidad de los tableros elaborados tenderá a disminuir. De otro lado, la madera proveniente de bosque natural presenta buenas densidades de tableros. El efecto observado donde los tableros de 16 años y bosque natural presentan valores similares puede estar influenciado por la conformación anatómica de la madera de plantación y bosque natural, donde por efectos del tratamiento silvicultural pueden ser diferentes.

4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN: MÓDULO DE RUPTURA (MOR)

El anexo A-7 muestra los valores experimentales obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión de los tableros elaborados con residuos de madera de plantación y bosque natural.

El cuadro 3 presenta los promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de la resistencia a la flexión (MOR) de los tableros elaborados con partículas de madera proveniente de plantación y bosque natural. La figura 14 muestra la relación que existe entre el módulo de ruptura y las edades de las partículas de madera empleadas para la elaboración de los tableros.

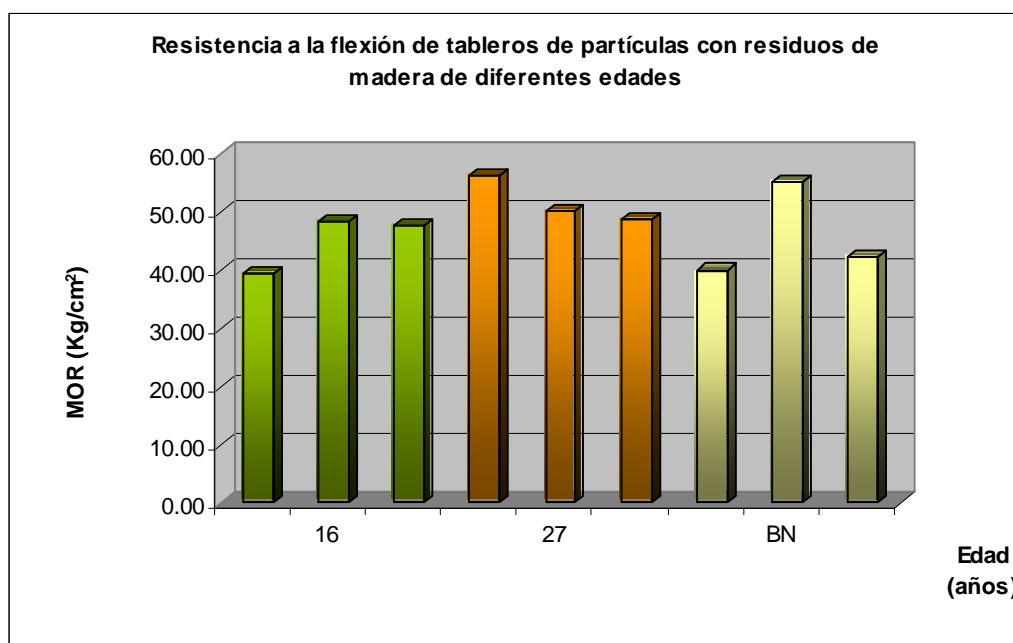
Cuadro 3 Promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de la Resistencia a la flexión (Kg/cm^2) de los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural.

<i>Edad</i>	<i>Tablero</i>	<i>Densidad promedio (g/cm^3)</i>	<i>MOR promedio (Kg/cm^2)</i>	<i>MOR promedio por tablero (Kg/cm^2)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>CV (%)</i>
16	1	0,60	45,00	39,35	2,53	6,43
	2			48,39	14,83	30,65
	3			47,64	13,28	27,88
27	1	0,51	51,00	56,27	6,47	11,50
	2			50,34	1,59	3,16
	3			48,85	2,77	5,67
BN	1	0,62	45,00	40,05	9,02	22,52
	2			55,21	12,80	23,18
	3			42,39	7,29	17,20

Fuente: Elaboración propia

Del anexo A-7 y del cuadro 3 se tienen que los valores de módulo de ruptura para la edad de 16 años varía entre 31 y 65 Kg/cm^2 con un promedio de 45 Kg/cm^2 presentando una alta variabilidad; para la edad de 27 años varía entre 45 y 60 Kg/cm^2 con un promedio de 51 Kg/cm^2 presentando una variabilidad media y para los de bosque natural varía entre 25 y 67 Kg/cm^2 con un promedio de 45 Kg/cm^2 presentando una variabilidad alta.

Los tableros de 27 años son los que presentan el mejor valor promedio del MOR y coeficientes de variación que se encuentra dentro del rango (4 % a 8 %) mencionado por (Calzada 1982) para estos tipos de experimentos, indicando la poca variabilidad de sus resultados. Mientras tanto el valor promedio del MOR obtenido en los tableros de 16 años y de bosque natural no difiere mucho uno del otro, así también como sus coeficientes de variación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Relación entre el Módulo de ruptura de los tableros y las edades de las partículas de madera.

De la figura 14, la tendencia que sigue el gráfico difiere de lo afirmado por Moslemi (1974a); donde las especies de menor densidad de madera, en este caso la de 16 años, presentan mejores valores de resistencia a la flexión. Sin embargo, se ajusta a lo estudiado por Cruz (1976) quien señala la existencia de un rango óptimo de densidad de la madera en relación con el módulo de ruptura.

De otro lado, al realizar el análisis de varianza (Anexo A-8), ésta indica estadísticamente que no existen diferencias significativas entre los valores promedio del Módulo de ruptura de los tableros de partículas elaborados con madera de Marupa y las diferentes edades.

Finalmente al comparar los promedios del Módulo de ruptura de los tableros con el valor mínimo exigido por la norma DIN 68761 (180 Kg/cm²), se tiene que ningún tablero supera estos valores. Esto indica que existieron factores que han imposibilitado el correcto fraguado de la resina y la conformación del tablero.

4.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

El anexo A-9 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la tracción de los tableros elaborados con residuos de madera proveniente de plantación y de bosque natural.

El cuadro 4, presenta los valores promedios y coeficientes de variabilidad del cálculo de la Resistencia a la tracción (Carga unitaria) de los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural. La figura 15 muestra la relación que existe entre la carga unitaria y las edades de las partículas de madera empleadas para la elaboración de los tableros.

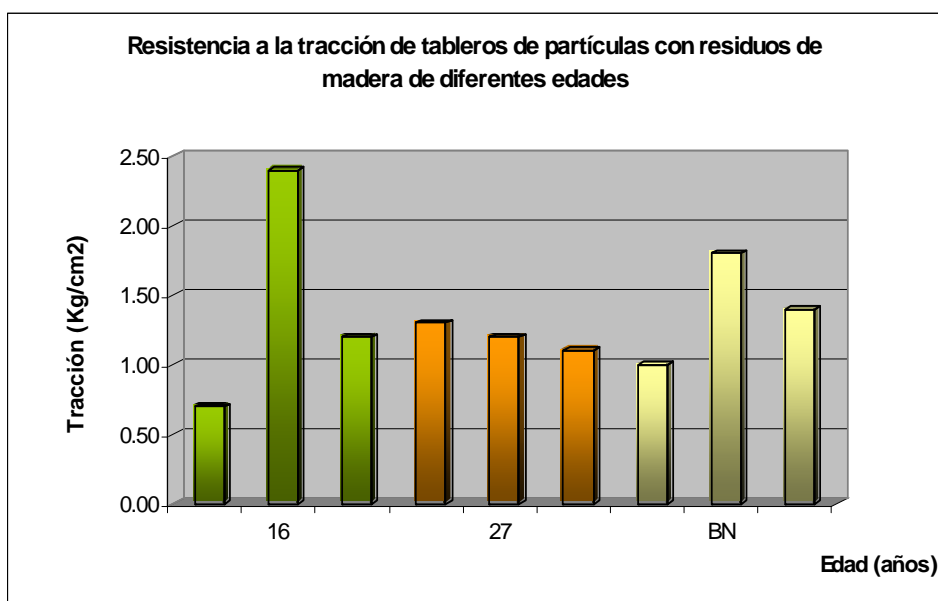
Cuadro 4 Promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de la Resistencia a la tracción (Kg/cm^2) de los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural.

<i>Edad</i>	<i>Tablero</i>	<i>Densidad promedio (g/cm^3)</i>	<i>Carga unitaria promedio (Kg/cm^2)</i>	<i>Carga unitaria promedio por tablero (Kg/cm^2)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>CV (%)</i>
16	1	0,60	1,46	0,70	0,10	14,29
	2			2,40	1,00	41,67
	3			1,20	0,60	50,00
27	1	0,51	1,18	1,30	0,40	30,77
	2			1,20	0,40	33,33
	3			1,10	0,40	36,36
BN	1	0,62	1,39	1,00	0,30	30,00
	2			1,80	1,10	61,11
	3			1,40	0,20	14,29

Fuente: Elaboración propia

Del anexo A-9 y del cuadro 4 se tiene que los valores de resistencia a la tracción para los tableros de 16 años varían entre 0,5 y 4,1 Kg/cm^2 con un promedio de 1,46 Kg/cm^2 presentando variabilidad alta; para los de 27 años varían entre 0,7 y 1,9 Kg/cm^2 con un promedio de 1,18 Kg/cm^2 presentando variabilidad alta; y para los de bosque natural varían entre 0,6 y 3,9 Kg/cm^2 con un promedio de 1,39 Kg/cm^2 y variabilidad alta.

Los tableros de 16 años son los que presentan el mejor valor promedio de la resistencia a la tracción pero tienen valores altos de coeficiente de variabilidad, indicando la poca homogeneidad del ensayo en las probetas. Por otro lado los tableros de 27 años presentan el promedio más bajo de la resistencia a la tracción, con coeficientes de variabilidad alta. Todos los coeficientes de variabilidad se encuentran fuera del rango permitido estadísticamente según (Calzada 1982).



Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Relación entre la Carga unitaria de los tableros y las edades de las partículas de madera.

De la figura 15, el promedio de la resistencia a la tracción para cada edad presenta una relación directa a la densidad del tablero, tal como lo afirma Kelly (1977), donde indica que se puede aumentar la resistencia a la tracción al aumentar la densidad del tablero o cantidad de resina.

De otro lado, el análisis de varianza (Anexo A-10) indica que estadísticamente no existen diferencias significativas entre los valores de carga unitaria promedio de los tableros elaborados con partículas de Marupa y las diferentes edades.

Al comparar los valores de tracción obtenidos con los valores mínimos exigidos por la norma DIN 68761 (3,5 Kg/cm²), se tienen que sólo algunas probetas de los tableros de 16 años y bosque natural superan este valor (anexo A-9), y en el caso de los tableros de 27 años ninguna de éstas supera la norma.

Los tableros de partículas al obtener valores bajos de carga unitaria (Kg/cm²) indican que no existió una buena adherencia entre la resina y las partículas de Marupa. Esta deficiencia en la adherencia, se puede atribuir entre otros factores al fenómeno de convección, donde según Boeing y Jayne (citado por Monteza), la humedad de las partículas y la resina en el colchón genera 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.

4.3 ESTABILIDAD DIMENSIONAL

4.3.1 HINCHAMIENTO

El anexo A-11 muestra los resultados obtenidos en los ensayos de hinchamiento a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa proveniente de plantación y bosque natural.

El cuadro 5, presenta los valores promedios y coeficientes de variabilidad del cálculo de hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en el agua de los tableros elaborados con partículas de Marupa proveniente de plantación y bosque natural. La figura 16 muestra la relación que existe entre el hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas y las edades de las partículas de madera empleadas para la elaboración de los tableros.

Cuadro 5 Promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de Hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en el agua de los tableros elaborados con partículas de Marupa proveniente de plantación y bosque natural.

			Hinchamiento a 2 horas			
Edad	Tablero	Densidad promedio (g/cm³)	Hinchamiento promedio (%)	Hinchamiento promedio por tablero (%)	Desviación estándar	CV (%)
16	1	0,60	57,30	65,30	7,03	10,77
	2			45,00	5,50	12,22
	3			61,70	2,90	4,70
27	1	0,51	42,40	38,30	5,10	13,32
	2			41,00	3,80	9,27
	3			48,00	7,30	15,21
BN	1	0,62	49,30	40,70	17,80	43,73
	2			57,50	5,30	9,22
	3			49,60	18,20	36,69
			Hinchamiento a 24 horas			
Edad	Tablero	Densidad promedio (g/cm³)	Hinchamiento promedio (%)	Hinchamiento promedio por tablero (%)	Desviación estándar	CV (%)
16	1	0,60	69,50	78,40	9,89	12,61
	2			55,20	6,28	11,38
	3			74,90	2,92	3,90
27	1	0,51	52,80	48,00	5,60	11,67
	2			51,00	3,40	6,67
	3			59,40	8,40	14,14
BN	1	0,62	57,10	46,40	20,20	43,53
	2			68,60	6,70	9,77
	3			56,40	19,60	34,75

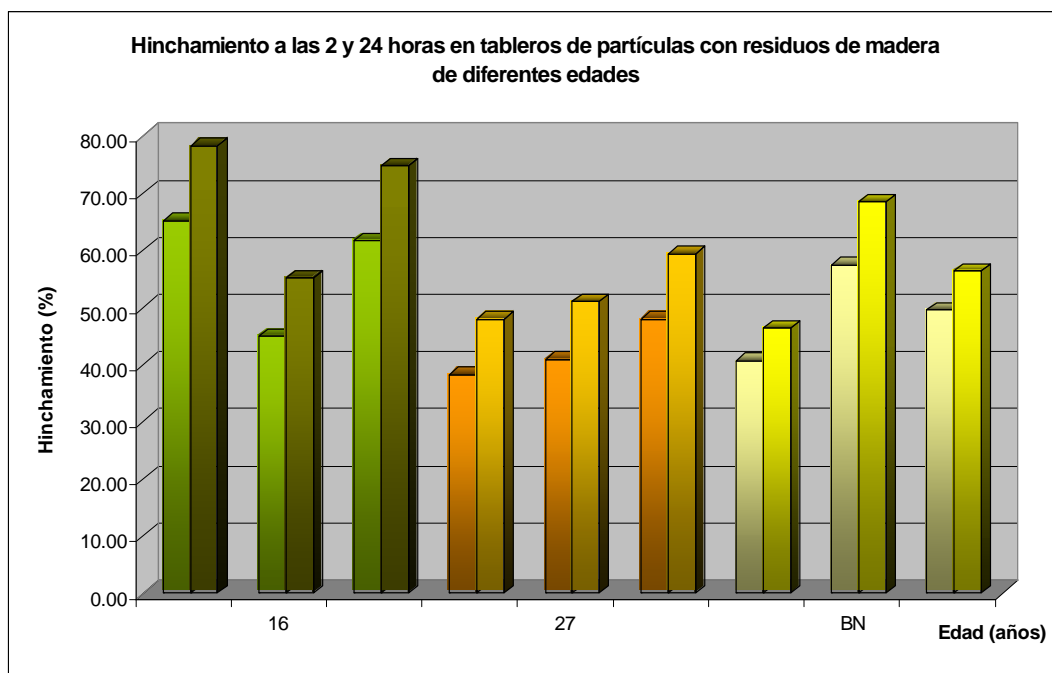
Fuente: Elaboración propia

Del anexo A-11 y cuadro 5 se tiene que el hinchamiento a las 2 horas para los tableros de 16 años varían entre 37 y 81 % con un promedio de 57,3 % presentando una variabilidad media, para los de 27 años varían entre 31 y 57 % con un promedio de 42,4 % presentando una variabilidad media, y para los de bosque natural varían entre 22 y 71 % con un promedio de 49,3 % presentando una variabilidad alta.

El hinchamiento a las 24 horas para los tableros de 16 años varían entre 46 y 96 % con un promedio de 69,5 % presentando una variabilidad media, para los de 27 años varía entre 41 y 69 % con un promedio de 52,8 % presentando una variabilidad media, y para los de bosque natural varían entre 25 y 82 % con un promedio de 57,1 % presentando una variabilidad alta.

En el ensayo de hinchamiento a las 2 horas, los tableros de 16 años son los que presentan el mayor valor de hinchamiento, mientras que los tableros de 27 años presentan los menores valores, en ambos casos presentan la misma variabilidad de los datos.

En el ensayo de hinchamiento a las 24 horas, se observa el mismo comportamiento que presenta el ensayo de hinchamiento a las 2 horas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Relación entre el hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas de inmersión de los tableros y las edades de las partículas de madera.

De la figura 16, se observa que los tableros de 16 años (densidad de madera $0,31 \text{ g/cm}^3$) presentan en promedio el mayor valor de hinchamiento tanto para las 2 y 24 horas de inmersión en agua; mientras que los de 27 años (densidad de madera $0,32 \text{ g/cm}^3$) presentan en promedio el menor valor de hinchamiento tanto a las 2 y 24 horas. Ocurre un caso particular con los tableros de bosque natural, donde por la densidad de la madera ($0,36 \text{ g/cm}^3$) debería presentar valores de hinchamiento menores, ello indica que existe una diferencia posiblemente anatómica entre árboles de bosque natural y plantación. La tendencia mostrada se cumple sólo para el caso de los tableros de plantación, donde Kelly (1977) y Moslemi (1974a) afirman que los tableros elaborados con maderas de baja densidad presentan mayores incrementos de hinchamiento, en comparación a los de alta densidad.

De otro lado, la tendencia que se observa en el gráfico de hinchamiento presenta un comportamiento parecido al gráfico de resistencia a la tracción, indicando que los ensayos están relacionados al grado de compactación de las partículas de madera.

El análisis de varianza (Anexo A-12) indica que estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre los valores de hinchamiento promedio a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados con partículas de Marupa y la edad de 16, 27 años y bosque natural. Para analizar este efecto se realizó el análisis de comparaciones pareadas entre los hinchamientos promedio a las 2 y 24 horas con los niveles de edad mediante la prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95%.

El anexo A-13, demuestra las diferencias existentes para el hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas, donde los tableros de 16 y 27 años presentan diferencias altamente significativas, los de 16 años y bosque natural presentan diferencias significativas; mientras que los de 27 años con bosque natural no presentan diferencias significativas. Este comportamiento puede confirmarse al observar el cuadro 5 y figura 16; donde los promedios de hinchamiento, entre los tableros de 27 años y bosque natural, tienen valores muy cercanos entre sí.

Al comparar los valores promedios de los diferentes tableros elaborados con los valores máximos permitidos por las normas DIN 68761 (8% a las 2 horas y 16% a las 24 horas), observamos que ninguno satisface tal condición. Esto puede deberse a lo afirmado por Kelly

(1977) con relación a la eficiencia en la aplicación de la cola y al comportamiento que tiene la madera al hinchamiento (Vital y Wilson 1980).

4.3.2 ABSORCIÓN DE AGUA

El anexo A-14 presenta los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de absorción de agua a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa de diferentes edades.

El cuadro 6, presenta los valores promedios y coeficientes de variabilidad del cálculo de absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural. La figura 17 muestra la relación que existe entre la absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas y las edades de las partículas de madera empleadas para la elaboración de los tableros.

Cuadro 6 Promedios y coeficientes de variabilidad de las probetas empleadas para el cálculo de Absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en el agua para los tableros elaborados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural.

<i>Edad</i>	<i>Tablero</i>	<i>Densidad promedio (g/cm³)</i>	<i>Absorción a 2 horas</i>			
			<i>Absorción promedio (%)</i>	<i>Absorción promedio por tablero (%)</i>	<i>Desviación estándar</i>	<i>CV (%)</i>
16	1	0,60	138,60	158,50	20,40	12,87
	2			111,20	8,40	7,55
	3			146,00	5,60	3,84
27	1	0,51	108,30	96,40	4,60	4,77
	2			113,00	4,40	3,89
	3			115,60	8,00	6,92
BN	1	0,62	136,20	123,80	9,50	7,67
	2			149,10	11,30	7,58
	3			135,70	10,00	7,37

			Absorción a 24 horas			
Edad	Tablero	Densidad promedio (g/cm³)	Absorción promedio (%)	Absorción promedio por tablero (%)	Desviación estándar	CV (%)
16	1	0,60	178,00	194,40	20,20	10,39
	2			151,90	10,20	6,71
	3			187,80	3,80	2,02
27	1	0,51	143,20	128,60	4,60	3,58
	2			149,20	4,30	2,88
	3			151,80	9,70	6,39
BN	1	0,62	136,20	146,60	12,00	8,19
	2			176,10	8,10	4,60
	3			160,40	12,10	7,54

Fuente: Elaboración propia

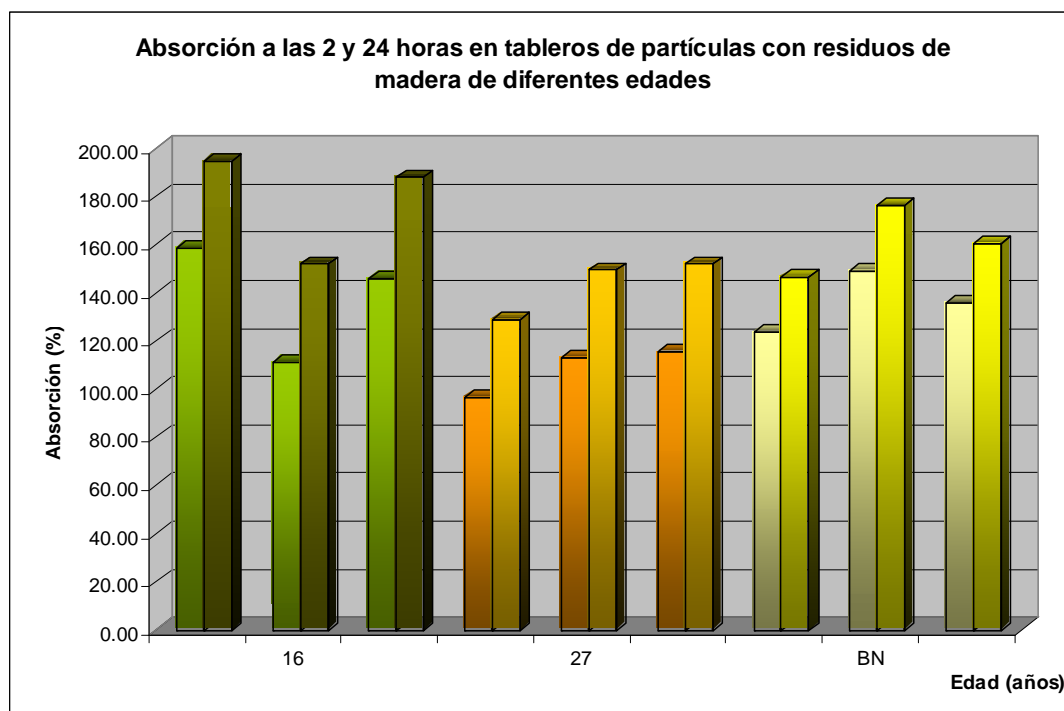
Del anexo A-14 y cuadro 6 se tiene que la absorción a las 2 horas para los tableros de 16 años varían entre 100 y 195% con un promedio de 138,6% presentando una variabilidad media, para los de 27 años varían entre 88 y 128% con un promedio de 108,3% presentando una variabilidad baja, y para los de bosque natural varían entre 114 y 167% con un promedio de 136,2% presentando una variabilidad media.

La absorción a las 24 horas para los tableros de 16 años varían entre 139 y 229% con un promedio de 178% presentando una variabilidad media, para los de 27 años varían entre 122 y 166% con un promedio de 143,2% presentando una variabilidad baja, y para los de bosque natural varían entre 132 y 186% con un promedio de 136,2% presentando una variabilidad media.

En el ensayo de absorción a las 2 horas, los tableros de 16 años son los que presentan el mayor valor de absorción y coeficiente de variabilidad que se encuentran fuera del rango afirmado por (Calzada 1982) para este tipo de experimentos. Así mismo, los tableros de 27 años presentan los menores valores de absorción y coeficientes de variabilidad bajos aceptados para estos experimentos.

En el ensayo de absorción a las 24 horas, los tableros de 16 años son los que presentan el mayor valor de absorción, mientras que en este caso, son los tableros de bosque natural que

presentan los menores valores de absorción. En ambos casos, se observa coeficientes de variabilidad bajo aceptados para este tipo de experimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Relación entre la absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas de inmersión de los tableros y las edades de las partículas de madera.

De la figura 17, se observa que para la absorción (%) a las 2 horas, los tableros de 16 años (densidad de madera g/cm^3) y bosque natural (densidad de madera $0,36 \text{ g/cm}^3$) presentan en promedio los mayores valores de absorción. Al igual que para el ensayo de hinchamiento, la absorción de agua a las 2 horas sigue la tendencia mostrada por el ensayo de tracción. Esto indica la relación directa que existe entre estos ensayos debido a la influencia del grado de compactación.

De otro lado, se observa que la absorción (%) a las 24 horas presenta un comportamiento diferente, ya que en este caso el valor promedio de absorción de agua no varía para los tableros de bosque natural. Esto muestra que la absorción a las 24 horas disminuye a medida

que aumenta la edad de las partículas de madera (densidad de la madera). Este comportamiento también nos indica que los tableros elaborados con residuos de bosque natural se encuentran en un punto máximo de saturación, mientras que los tableros de 16 años debido a la baja densidad de su madera, tienen aún la capacidad de ganar mayor humedad.

El análisis de varianza (Anexo A-15) indica que estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre los valores de absorción promedio a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados con partículas de Marupa y la edad de 16, 27 años y bosque natural. Para explicar este efecto se realizó el análisis de comparaciones pareadas entre las absorciones promedio a las 2 y 24 horas con los niveles de edad mediante la prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95%.

Al observar el anexo A-16, demuestra las diferencias existentes para la absorción (%) a las 2 horas, donde los tableros de 16 y 27 años presentan diferencias altamente significativas, al igual ocurre entre los tableros de 27 años y bosque natural; mientras que los tableros de 16 y bosque natural no ocurren diferencias significativas. Este comportamiento se puede verificar la observar el cuadro 6, donde los promedios de absorción entre los tableros de 16 años y bosque natural presentan valores muy cercanos.

En el ensayo de absorción (%) a las 24 horas, los tableros de 16 y 27 años son los únicos que presentan diferencias altamente significativas; mientras que las diferencias significativas se presentan entre los tableros de 16 años con bosque natural, y entre los de 27 años con bosque natural. El hecho de que el tablero haya permanecido mas tiempo bajo el agua puede haber ocasionado una ruptura en la línea de cola entre las partículas, por ello la absorción de agua a las 24 horas debió estar influenciado por la naturaleza higroscópica de la madera; siendo estos de diferentes densidades, provocará diferentes niveles de absorción de agua.

Debido a que para la absorción de agua a las 2 y 24 horas, no existen normas DIN o ASTM que fijen un límite máximo, se tomaron como referencia valores obtenidos en diferentes estudios; tales como los establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (10 al 50 % luego de 24 horas de inmersión), citado por Carrillo (1983). Maldonado (1992), quien cita a Kumar (1983); menciona valores límites entre 45 y 95%, y Garay

(1980); obtiene valores entre 57 y 61% para 2 y 24 horas respectivamente en tableros con 0.75 g/cm³ de densidad y 8% de resinosidad. Como se puede apreciar ningún tablero cumpliría con la exigencia requerida, confirmando la relación directa que hay con la adhesión interna y sus bajos valores obtenidos.

5. *CONCLUSIONES*

- 1) Se obtuvieron partículas de madera que están dentro del rango recomendado por investigadores en la elaboración de tableros de partículas; sin embargo la calidad de las partículas puede no haber sido la más óptima debido a varios factores como el corte preestablecido de los residuos y el tipo de molino empleado para la obtención de las partículas.
- 2) Lo indicado en el punto anterior, puede haber influenciado en las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de partículas.
- 3) Se obtuvieron valores de densidad de tablero por debajo de las densidades teóricas preestablecidas, esto afecta a las propiedades del tablero ya que evidencia que no hubo una adecuada compactación del “mat” o colchón.
- 4) Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión, no superaron los mínimos exigidos por las normas DIN, lo cual puede ser consecuencia de una deficiente distribución y fraguado de la resina; así como una mala calidad de las partículas.
- 5) En cuanto a los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción, éstos no superaron en promedio las normas DIN; sin embargo, existen algunas probetas de la edad de 16 años y bosque natural que superan los valores exigidos. Ello indica que los tableros muestran variaciones en la gradiente de densidad vertical, producto de una deficiente adherencia entre la resina y las partículas, y otros parámetros como la temperatura y tiempo de fraguado.
- 6) Respecto a las propiedades físicas, tanto en el hinchamiento como la absorción, se cumple la teoría de que a menor densidad de la madera empleada el cual esta relacionada con la edad, se dan mayores valores en los tableros; esto ocurre sólo para los tableros elaborados con partículas de madera de plantación.
- 7) Los resultados obtenidos en las propiedades físicas excedieron el límite máximo establecido en las normas y estudios previos realizados.

8) Luego de observar los valores obtenidos en los ensayos mecánicos y físicos, se puede concluir que la edad de la madera proveniente de plantaciones esta directamente relacionada a su densidad, el cual influye en las propiedades del tablero. Sin embargo, ocurrió un comportamiento irregular con los tableros elaborados con partículas de bosque natural, lo cual distorsiono los comportamientos afirmados por estudios previos.

6. RECOMENDACIONES

- 1) El estudio demuestra la posibilidad de elaborar tableros de partículas con la especie Marupa a partir de desechos de la transformación mecánica, sin embargo se debe mejorar los diversos procedimientos del proceso de elaboración del tablero. Además debe considerarse que los tableros de partículas homogéneos presentan menores valores en sus propiedades mecánicas y físicas, comparadas con tableros de dos o tres capas.
- 2) De la experiencia en la elaboración del tablero, se recomienda mejorar las técnicas en la obtención y clasificación de las partículas cuando se utiliza material de desecho, optimizar el encolado de las partículas con equipos que garanticen la pulverización uniforme de la resina en las partículas y disminuyan la pérdida de la resina pulverizada y contar con un mejor mecanismo de control de la temperatura de los platos de la prensa.
- 3) En el estudio efectuado se ha considerado al encolado de las partículas como un punto crítico; por ello se recomienda para futuros estudios, elaborar una encoladora artesanal que simule el encolado de la industria. De esta manera se tendría una mayor seguridad de obtener tableros de buena calidad.
- 4) Para disminuir los cambios dimensionales de los tableros, se recomienda utilizar en futuros estudios, la incorporación de sustancias hidrófobas en la preparación del “mat” o colchón.
- 5) Adicional a éstos estudios de carácter técnico, se recomienda realizar estudios de factibilidad económica e industrial con la finalidad que se pueda identificar los costos de fabricación y producción industrial de los tableros. Ello servirá como insumo para incrementar las posibilidades de establecer industrias forestales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, M. 1983. Determinación de la edad mínima para la producción de tableros de partículas con Gmelina arborea proveniente de las plantaciones de la reserva forestal de Ticoporo. Tesis de Mg. Sc, Mérida, VE. 73 p.
2. Aróstegui, A. 1982. Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. Lima, PE, Proyecto PNUD/FAO/PER/81/002. 57 p. (Documento de Trabajo - FAO-FPDFSC, no. 2)
3. Aróstegui, A. 1974. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Ministerio de Agricultura, Universidad Nacional Agraria la Molina. v. 1, 483p.
4. Berterreche, A.; Poblete, H. y Niemz, P. 1995. Propiedades de tableros de partículas de *Pinus radiata* D. Don. con aserrín de la misma especie. Ciencia e Investigación Forestal. 9(1):73-90.
5. Brumbaugh, J. 1960. Effect of flake dimension on properties of particleboard. Forest Products Journal. 10(5) 243-246 p.
6. Calzada, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. 5 ed. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, PE. 643p.
7. Carrillo, N. 1983. Determinación de posibles usos de tableros aglomerados de bagazo de caña de azúcar de tres capas. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE.
8. Cruz, A. 1976. Properties of experimental particleboard from three Costa Rica hard woods. Thesis Mg. Sc. New York, US. 22 p.
9. Ginzler, W. y Peraza, C. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Madrid, ES, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 187 p.
10. Heebink, H.; Hann, R. y Haskell, H. 1964. Particleboard quality as affected by planer shaving geometry. Forest Products Journal 14(10): 486-494 p.

11. Kelly, M. 1977. Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. Forest Products Laboratory 10: 64.
12. Kollmann, F. 1984. Principles of wood science and technology. Berlin, DE. v. 1, 592 p.
13. Lehmann, W. 1965. Improved particleboard through better resin efficiency. Forest Products Laboratory.
14. _____; and Hefty, F. 1973. Factors affecting particleboard pressing time: Interaction with catalyst system Forest Products Laboratory 208: 1-20.
15. Maldonado, C. 1992. Producción de tableros de partículas utilizando cuatro especies tropicales. Tesis Mg. Sc. Lima, PE. 90p.
16. Maloney, M. 1977. Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing. Milles Freeman Publication. San Francisco, US. 672 p.
17. 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 Lic. Ing. For. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria la Molina. 86 p.
18. Moslemi, A. 1974a. Particleboard. Illinois, US, University Press. v. 1, 243 p.
19. _____. 1974b. Particleboard. Illinois, US, University Press. v. 2, 245 p.
20. Mottet, A. 1954. The particle geometry factor in particleboard manufacturing. US.
21. OIMT (Organización Internacional de Maderas Tropicales). 2000. Estadísticas sobre el comercio de maderas 8(2): 18.
22. OIMT/CNF/INRENA (Organización Internacional de Maderas Tropicales, Cámara Nacional Forestal, Instituto Nacional de Recursos Naturales). 1999. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Proyecto OIMT PD 37/88 (I). 240p.
23. Patiño F. 2002. Propiedades físico – mecánicas de *Simarouba amara* proveniente de plantación de diferentes edades. Tesis Lic. Ing. For. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria la Molina. 46 p.

24. Pinto, A. y Poblete, H. 1992. Efecto del catalizador en las propiedades de tableros de partículas con madera de Tapa. *Ciencia e Investigación Forestal*. 6 (2): 259-279.
25. Poblete, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. *Bosque*. 3 (1): 39-46.
26. _____. 1985. Influencia del tamaño de partículas sobre las propiedades mecánicas, flexión y tracción, en tableros de partículas aglomeradas con ureaformaldehído. Chile, Universidad Austral. tomo 2, 241-256 p.
27. _____. 1989. Propiedades mecánicas de tableros de partículas homogéneos. *Ciencia e Investigación Forestal*. 2(7): 35-48.
28. Reyes, P. 1992. Influencia del contenido de ureaformaldehído en la producción de tableros de partículas con Bolaína (*Guazuma crinita* Mart). Tesis Mg. Sc. Lima, PE. 65p.
29. 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*. 2(44).
30. Suchsland, O. 1967. Behavior of a particleboard mat during the press cycle. *Forest Products Journal*. 17(2): 51-57.
31. Vital, R., Lehmann, F. y Boone, S. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard. *Forest Product Journal* 24(12): 37-45.
32. _____ and Wilson, B. 1980. Water adsorption of particleboard and flakeboard. *Wood and Fiber* 12(4): 264-271.

ANEXO 1

Cálculos para determinar la cantidad de insumos y materiales empleados en la fabricación de tableros de partículas

DATOS DEL TABLERO

Medidas : 40 cm x 40 cm x 1,2cm
 Densidad : 0,68 g/cm³
 CH : 12 %
 Resinosidad : 8 %

ITEMS	FÓRMULA	CÁLCULOS
Volumen del tablero (V)	$V = l \times l \times e$	1920 cm ³
Peso del tablero al 12 % de CH (Mt)	$X_{to} = V \times dt$	1305,6 gr
Peso seco al horno del tablero (XTo)	$X_{to} = XT / (1 + MT \times 0,01)$	1165,7 gr
Peso seco de las partículas (Xpo)	$X_{po} = X_{to} / (1 + 0.01 \times R)$	1079,4 gr
Peso de las partículas (XPi) a la humedad actual de trabajo (MPi)	$X_{pi} = X_{po} \times (1 + 0.01 \times MPi)$	1122,5 gr
Peso de la resina sólida en el tablero (y)	$y = R/100 \times X_{po}$	86,3 gr
Peso de la cola líquida al 51% de contenido de sólidos (yc)	$yc = y / (y_{cs}/100)$	186,2 gr (*)
Peso de las partículas (Xti) o "mat" al momento de ser prensado a un contenido de humedad Mti	$X_{t15\%} = X_{to} (1 + M_{ti}/100)$	1340,6 gr
Peso del agua para tener el "mat" al contenido de humedad deseado al momento de ser prensado (Mti)	Agua añad. = $X_{Ti} - (X_{Py} + yc)$	31,8 gr
Peso total de agua en el tablero (Pat)	$Pat = X_{ti} - X_{To}$	174,9 gr
Cálculo de la cantidad de catalizador	$W_{cat} = R/100 \times y$	6,9 gr

(*) Considerando un 10% extra por pérdidas.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

Valores de Espesor, Longitud y Coeficiente de Esbeltez de las partículas producidas luego del astillado y tamizado.

EDAD 16			EDAD 27			BOSQUE NATURAL		
L (mm)	e (mm)	C.E.	L (mm)	e (mm)	C.E.	L (mm)	e (mm)	C.E.
11.21	0.17	66	8.63	0.13	66	7.69	0.12	64
11.42	0.14	82	7.97	0.13	61	9.76	0.13	75
8.45	0.14	60	9.15	0.13	70	8.20	0.12	68
11.49	0.14	82	7.93	0.11	72	7.84	0.12	65
10.83	0.17	64	9.67	0.14	69	9.18	0.13	71
10.13	0.15	68	8.57	0.13	66	6.54	0.10	65
9.98	0.12	83	7.76	0.12	65	9.31	0.13	72
10.56	0.14	75	11.65	0.15	78	8.11	0.13	62
11.19	0.15	75	10.59	0.14	76	8.30	0.13	64
7.71	0.09	86	8.35	0.13	64	7.04	0.10	70
12.26	0.17	72	6.60	0.10	66	7.23	0.10	72
9.82	0.15	65	7.63	0.12	64	13.80	0.18	77
13.55	0.15	90	6.47	0.10	65	9.01	0.13	69
8.56	0.13	66	7.30	0.10	73	8.46	0.12	71
10.91	0.16	68	11.57	0.14	83	7.18	0.12	60
9.87	0.15	66	8.48	0.13	65	7.17	0.11	65
8.60	0.16	54	9.90	0.14	71	12.43	0.16	78
7.41	0.13	57	7.60	0.12	63	9.00	0.13	69
7.49	0.08	94	10.12	0.15	67	13.03	0.16	81
8.56	0.11	78	7.15	0.10	72	7.05	0.11	64
10.37	0.11	94	7.65	0.11	70	9.56	0.13	74
11.05	0.18	61	8.49	0.12	71	8.06	0.13	62
12.98	0.17	76	9.39	0.13	72	7.86	0.12	66
8.51	0.13	65	10.90	0.14	78	7.74	0.12	65
12.36	0.13	95	9.46	0.13	73	7.72	0.14	55
7.68	0.11	70	10.25	0.15	68	10.73	0.14	77
10.33	0.12	86	9.25	0.12	77	9.00	0.13	69
6.59	0.11	60	8.40	0.13	65	9.62	0.13	74
7.23	0.12	60	7.85	0.12	65	8.80	0.12	73
8.19	0.13	63	7.43	0.12	62	7.20	0.10	72
Prom.		73			69			69
Des.est.		11.85			5.31			5.87
CV		16.23			7.70			8.51

ANEXO 3

Análisis de Varianza de los Coeficientes de Esbeltez de las partículas pertenecientes a una plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	DENSIDAD			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	2	260,3	130,1	1,91	0,155
ERROR	87	5942,6	68,3		
TOTAL	89	6202,9			

ANEXO 4

Resultado obtenido en las probetas evaluadas para el cálculo de la Densidad de los tableros (g/cm³) elaborados con residuos de madera de Marupa de 16 años, 27 años y bosque natural.

EDAD	TABLERO-PROBETA	L 1 (cm)	L 2 (cm)	e (cm)	VOL (cc)	PESO (g)	DENSIDAD (g/cc)
16	I-A	5.08	5.35	1.20	32.6	18.2	0.56
16	I-B	5.05	5.32	1.21	32.5	20.4	0.63
16	I-C	5.08	5.34	1.20	32.6	20.7	0.64
16	I-D	5.07	5.18	1.18	31.0	20.1	0.65
16	I-E	5.08	5.34	1.18	32.0	20.3	0.63
16	I-F	5.03	5.33	1.19	31.9	17.2	0.54
16	I-G	5.34	5.07	1.18	31.9	19.8	0.62
16	II-A	5.08	5.03	1.19	30.4	18.7	0.61
16	II-B	5.04	5.03	1.18	29.9	19.1	0.64
16	II-C	5.07	5.03	1.19	30.3	19.0	0.63
16	II-D	5.07	5.02	1.20	30.5	18.5	0.61
16	II-E	5.07	5.02	1.19	30.3	17.9	0.59
16	II-F	5.08	5.03	1.21	30.9	18.3	0.59
16	II-G	5.07	5.03	1.19	30.3	19.2	0.63
16	III-A	5.08	5.02	1.17	29.8	15.6	0.52
16	III-B	5.03	5.08	1.17	29.9	18.4	0.62
16	III-C	5.01	5.08	1.18	30.0	19.6	0.65
16	III-D	5.22	5.21	1.19	32.4	15.5	0.48
16	III-E	5.20	5.21	1.20	32.5	15.5	0.48
16	III-F	5.02	5.08	1.18	30.1	19.6	0.65
16	III-G	5.10	5.02	1.17	30.0	19.5	0.65
27	I-A	5.09	5.25	1.20	32.1	16.7	0.52
27	I-B	5.25	5.09	1.17	31.3	14.9	0.48
27	I-C	5.10	5.24	1.16	31.0	16.1	0.52
27	I-D	5.10	5.26	1.20	32.2	16.8	0.52
27	I-E	5.08	5.26	1.16	31.0	16.8	0.54
27	I-F	5.10	5.26	1.20	32.2	17.2	0.53
27	I-G	5.09	5.24	1.17	31.2	16.1	0.52
27	II-A	5.27	5.10	1.22	32.8	16.1	0.49
27	II-B	5.11	5.24	1.20	32.1	16.1	0.50
27	II-C	5.10	5.25	1.18	31.6	15.5	0.49
27	II-D	5.10	5.25	1.21	32.4	16.4	0.51
27	II-E	5.08	5.27	1.16	31.1	14.5	0.47
27	II-F	5.27	5.09	1.19	31.9	15.5	0.49
27	II-G	5.10	5.25	1.19	31.9	15.3	0.48
27	III-A	5.26	5.11	1.21	32.5	17.6	0.54
27	III-B	5.25	5.25	1.22	33.6	16.8	0.50
27	III-C	5.20	5.19	1.20	32.4	16.1	0.50
27	III-D	5.26	5.10	1.20	32.2	17.2	0.53
27	III-E	5.27	5.09	1.18	31.7	16.0	0.51
27	III-F	5.11	5.27	1.19	32.0	16.4	0.51
27	III-G	5.26	5.11	1.20	32.3	17.3	0.54
BN	I-A	5.07	5.33	1.16	31.3	17.8	0.57
BN	I-B	5.07	5.35	1.16	31.5	16.7	0.53
BN	I-C	5.00	5.35	1.18	31.6	21.0	0.67
BN	I-D	5.06	5.45	1.17	32.3	17.3	0.54
BN	I-E	5.02	5.35	1.17	31.4	21.1	0.67
BN	I-F	5.05	5.33	1.16	31.2	19.8	0.63
BN	I-G	5.03	5.34	1.16	31.2	21.0	0.67
BN	II-A	5.08	5.35	1.13	30.7	16.5	0.54
BN	II-B	5.07	5.34	1.15	31.1	19.2	0.62
BN	II-C	5.07	5.33	1.14	30.8	20.5	0.67
BN	II-D	5.07	5.34	1.13	30.6	20.3	0.66
BN	II-E	5.08	5.35	1.15	31.3	20.3	0.65
BN	II-F	5.00	5.34	1.15	30.7	18.4	0.60
BN	II-G	5.08	5.34	1.13	30.7	20.5	0.67
BN	III-A	5.01	5.35	1.16	31.1	21.0	0.68
BN	III-B	5.08	5.34	1.16	31.5	17.8	0.57
BN	III-C	5.03	5.34	1.13	30.4	20.1	0.66
BN	III-D	5.06	5.35	1.16	31.4	18.2	0.58
BN	III-E	5.08	5.35	1.16	31.5	19.7	0.62
BN	III-F	5.08	5.33	1.14	30.9	19.2	0.62
BN	III-G	5.00	5.34	1.13	30.2	20.5	0.68

ANEXO 5

Análisis de Varianza de la Densidad de los tableros fabricados con partículas de madera de Marupa proveniente de plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	DENSIDAD			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	2	0,154975	0,077487	39,18	**
ERROR	60	0,118657	0,001978		
TOTAL	62	0,273632			

ANEXO 6

Prueba de Tukey para comparaciones pareadas de densidad de los tableros por niveles de edades estudiados

Factor Type Levels Values
Edad fixed 3 1 2 BN

Analysis of Variance for Densidad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Edad	2	0.154975	0.154975	0.077487	39.18	0.000
Error	60	0.118657	0.118657	0.001978		
Total	62	0.273632				

Unusual Observations for Densidad

Obs	Densidad	Fit	StDev Fit	Residual	St Resid
18	0.480000	0.600952	0.009704	-0.120952	-2.79R
19	0.480000	0.600952	0.009704	-0.120952	-2.79R
44	0.530000	0.623810	0.009704	-0.093810	-2.16R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Response Variable Densidad
All Pairwise Comparisons among Levels of Edad

Edad = 1 subtracted from:

Edad	Lower	Center	Upper
2	-0.1249	-0.09190	-0.05891
BN	-0.0101	0.02286	0.05585

-----+-----+-----+-----+
-0.080 0.000 0.080 0.160

Edad = 2 subtracted from:

Edad	Lower	Center	Upper
BN	0.08177	0.1148	0.1478

-----+-----+-----+-----+
-0.080 0.000 0.080 0.160

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable Densidad
All Pairwise Comparisons among Levels of Edad

Edad = 1 subtracted from:

Level of Edad	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
2	-0.09190	0.01372	-6.697	0.0000
BN	0.02286	0.01372	1.666	0.2268

Edad = 2 subtracted from:

Level of Edad	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
BN	0.1148	0.01372	8.362	0.0000

ANEXO 7

Resultado obtenido en las probetas evaluadas para el cálculo de la Resistencia a la Flexión (kg/cm²) en los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa de 16 años, 27 años y bosque natural

EDAD	TABLERO - PROBETA	PESO (g.)	ANCHO (cm.)	ESPESOR (cm.)	LARGO (cm.)	DENSIDAD (g/cc)	CARGA MAXIMA (lb)	MOR (Kg/cm2)
16	I - 1	112.0	5.07	1.18	30.1	0.62	18.0	43.37
16	I - 2	96.4	5.24	1.20	29.9	0.51	17.5	39.45
16	I - 3	111.3	5.05	1.17	30.1	0.63	16.0	39.37
16	I - 4	111.2	5.07	1.19	30.1	0.61	16.0	37.91
16	I - 5	109.3	5.00	1.18	30.1	0.62	15.0	36.65
16	II - 1	99.0	5.25	1.20	30.1	0.52	15.0	33.75
16	II - 2	108.3	5.22	1.19	29.9	0.58	22.5	51.78
16	II - 3	86.1	5.19	1.17	29.9	0.47	13.5	32.32
16	II - 4	108.8	5.22	1.19	30.0	0.58	25.5	58.68
16	II - 5	113.0	5.24	1.21	30.0	0.59	29.5	65.41
16	III - 1	92.8	5.25	1.18	30.0	0.50	13.5	31.41
16	III - 2	109.6	5.22	1.16	30.0	0.60	23.0	55.70
16	III - 3	112.1	5.23	1.16	30.0	0.62	27.0	65.26
16	III - 4	97.4	5.24	1.18	30.0	0.53	17.0	39.63
16	III - 5	110.5	5.20	1.19	30.1	0.59	20.0	46.20
27	I - 1	114.3	5.23	1.19	30.0	0.61	26.5	60.86
27	I - 2	112.0	5.23	1.19	30.0	0.60	26.0	59.71
27	I - 3	108.1	5.27	1.19	30.2	0.57	20.0	45.59
27	I - 4	110.8	5.25	1.18	30.1	0.59	26.0	60.50
27	I - 5	107.5	5.00	1.17	30.0	0.61	22.0	54.67
27	II - 1	109.5	5.24	1.21	30.0	0.58	22.0	48.78
27	II - 2	105.7	5.25	1.18	29.9	0.57	21.0	48.87
27	II - 3	112.3	5.25	1.20	30.0	0.59	22.5	50.63
27	II - 4	107.5	5.05	1.20	30.0	0.59	22.5	52.63
27	II - 5	106.2	5.00	1.20	30.0	0.59	21.5	50.79
27	III - 1	111.0	5.24	1.17	30.0	0.60	21.0	49.80
27	III - 2	107.6	5.23	1.18	30.0	0.58	19.5	45.55
27	III - 3	115.6	5.26	1.21	30.1	0.60	24.0	53.01
27	III - 4	108.3	5.00	1.19	30.0	0.61	20.0	48.05
27	III - 5	110.5	5.02	1.19	30.0	0.62	20.0	47.86
BN	I - 1	117.2	5.04	1.15	30.1	0.67	19.0	48.49
BN	I - 2	114.0	5.06	1.17	30.1	0.64	16.0	39.29
BN	I - 3	102.3	5.05	1.16	30.2	0.58	10.0	25.03
BN	I - 4	115.0	5.05	1.17	30.1	0.65	17.5	43.06
BN	I - 5	118.8	5.07	1.15	30.1	0.68	17.5	44.40
BN	II - 1	106.7	5.07	1.15	30.0	0.61	21.0	53.27
BN	II - 2	110.2	5.05	1.13	30.1	0.64	23.5	61.99
BN	II - 3	111.0	5.05	1.13	30.1	0.65	25.5	67.27
BN	II - 4	91.8	5.07	1.13	30.1	0.53	13.0	34.16
BN	II - 5	110.1	5.07	1.14	30.1	0.63	23.0	59.38
BN	III - 1	98.2	5.07	1.13	30.0	0.57	13.5	35.47
BN	III - 2	100.6	5.05	1.13	30.0	0.59	15.0	39.57
BN	III - 3	114.0	5.05	1.13	30.0	0.67	17.0	44.84
BN	III - 4	113.3	5.05	1.17	30.0	0.64	15.5	38.14
BN	III - 5	104.7	5.07	1.17	30.0	0.59	22.0	53.92

ANEXO 8

Análisis de Varianza de la Resistencia a la Flexión (MOR) de los tableros fabricados con partículas de Márupa proveniente de plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	DENSIDAD			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	2	403,0	201,5	2,07	0,139
ERROR	42	4084,1	97,2		
TOTAL	44	4487,1			

ANEXO 9

Resultado obtenido en las probetas evaluadas para el cálculo de la Resistencia a la Tracción (kg/cm²) en los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa de 16 años, 27 años y bosque natural

EDAD	TABLERO-PROBETA	L 1 (cm)	L 2 (cm)	e (cm)	VOL (cc)	PESO (g)	DENSIDAD (g/cc)	CARGA MÁXIMA (lb)	CARGA UNITARIA (Kg/cm ²)
16	I-A	5.08	5.35	1.20	32.6	18.2	0.56	34.0	0.6
16	I-B	5.05	5.32	1.21	32.5	20.4	0.63	42.5	0.7
16	I-C	5.08	5.34	1.20	32.6	20.7	0.64	52.0	0.9
16	I-D	5.07	5.18	1.18	31.0	20.1	0.65	47.5	0.8
16	I-E	5.08	5.34	1.18	32.0	20.3	0.63	48.0	0.8
16	I-F	5.03	5.33	1.19	31.9	17.2	0.54	30.0	0.5
16	I-G	5.34	5.07	1.18	31.9	19.8	0.62	48.0	0.8
16	II-A	5.08	5.03	1.19	30.4	18.7	0.61	140.0	2.5
16	II-B	5.04	5.03	1.18	29.9	19.1	0.64	85.0	1.5
16	II-C	5.07	5.03	1.19	30.3	19.0	0.63	104.0	1.8
16	II-D	5.07	5.02	1.20	30.5	18.5	0.61	105.0	1.9
16	II-E	5.07	5.02	1.19	30.3	17.9	0.59	185.0	3.3
16	II-F	5.08	5.03	1.21	30.9	18.3	0.59	95.0	1.7
16	II-G	5.07	5.03	1.19	30.3	19.2	0.63	230.0	4.1
16	III-A	5.08	5.02	1.17	29.8	15.6	0.52	78.0	1.4
16	III-B	5.03	5.08	1.17	29.9	18.4	0.62	70.0	1.2
16	III-C	5.01	5.08	1.18	30.0	19.6	0.65	61.0	1.1
16	III-D	5.22	5.21	1.19	32.4	15.5	0.48	40.0	0.7
16	III-E	5.20	5.21	1.20	32.5	15.5	0.48	40.0	0.7
16	III-F	5.02	5.08	1.18	30.1	19.6	0.65	78.0	1.4
16	III-G	5.10	5.02	1.17	30.0	19.5	0.65	130.0	2.3
27	I-A	5.09	5.25	1.20	32.1	16.7	0.52	96.0	1.6
27	I-B	5.25	5.09	1.17	31.3	14.9	0.48	86.0	1.5
27	I-C	5.10	5.24	1.16	31.0	16.1	0.52	63.0	1.1
27	I-D	5.10	5.26	1.20	32.2	16.8	0.52	54.0	0.9
27	I-E	5.08	5.26	1.16	31.0	16.8	0.54	42.0	0.7
27	I-F	5.10	5.26	1.20	32.2	17.2	0.53	68.0	1.1
27	I-G	5.09	5.24	1.17	31.2	16.1	0.52	108.0	1.8
27	II-A	5.27	5.10	1.22	32.8	16.1	0.49	75.0	1.3
27	II-B	5.11	5.24	1.20	32.1	16.1	0.50	55.0	0.9
27	II-C	5.10	5.25	1.18	31.6	15.5	0.49	61.0	1.0
27	II-D	5.10	5.25	1.21	32.4	16.4	0.51	46.0	0.8
27	II-E	5.08	5.27	1.16	31.1	14.5	0.47	82.0	1.4
27	II-F	5.27	5.09	1.19	31.9	15.5	0.49	58.0	1.0
27	II-G	5.10	5.25	1.19	31.9	15.3	0.48	113.0	1.9
27	III-A	5.26	5.11	1.21	32.5	17.6	0.54	46.0	0.8
27	III-B	5.25	5.25	1.22	33.6	16.8	0.50	40.0	0.7
27	III-C	5.20	5.19	1.20	32.4	16.1	0.50	50.0	0.8
27	III-D	5.26	5.10	1.20	32.2	17.2	0.53	55.0	0.9
27	III-E	5.27	5.09	1.18	31.7	16.0	0.51	95.0	1.6
27	III-F	5.11	5.27	1.19	32.0	16.4	0.51	70.0	1.2
27	III-G	5.26	5.11	1.20	32.3	17.3	0.54	97.0	1.6
BN	I-A	5.07	5.33	1.16	31.3	17.8	0.57	55.0	0.9
BN	I-B	5.07	5.35	1.16	31.5	16.7	0.53	35.0	0.6
BN	I-C	5.00	5.35	1.18	31.6	21.0	0.67	71.0	1.2
BN	I-D	5.06	5.45	1.17	32.3	17.3	0.54	35.0	0.6
BN	I-E	5.02	5.35	1.17	31.4	21.1	0.67	75.0	1.3
BN	I-F	5.05	5.33	1.16	31.2	19.8	0.63	62.0	1.0
BN	I-G	5.03	5.34	1.16	31.2	21.0	0.67	88.0	1.5
BN	II-A	5.08	5.35	1.13	30.7	16.5	0.54	105.0	1.8
BN	II-B	5.07	5.34	1.15	31.1	19.2	0.62	40.0	0.7
BN	II-C	5.07	5.33	1.14	30.8	20.5	0.67	35.0	0.6
BN	II-D	5.07	5.34	1.13	30.6	20.3	0.66	230.0	3.9
BN	II-E	5.08	5.35	1.15	31.3	20.3	0.65	135.0	2.3
BN	II-F	5.00	5.34	1.15	30.7	18.4	0.60	110.0	1.9
BN	II-G	5.08	5.34	1.13	30.7	20.5	0.67	82.0	1.4
BN	III-A	5.01	5.35	1.16	31.1	21.0	0.68	72.0	1.2
BN	III-B	5.08	5.34	1.16	31.5	17.8	0.57	74.0	1.2
BN	III-C	5.03	5.34	1.13	30.4	20.1	0.66	85.5	1.4
BN	III-D	5.06	5.35	1.16	31.4	18.2	0.58	72.5	1.2
BN	III-E	5.08	5.35	1.16	31.5	19.7	0.62	105.0	1.8
BN	III-F	5.08	5.33	1.14	30.9	19.2	0.62	78.0	1.3
BN	III-G	5.00	5.34	1.13	30.2	20.5	0.68	97.5	1.7

ANEXO 10

Análisis de Varianza de la Resistencia a la Tracción en los tableros fabricados con partículas de madera de plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	DENSIDAD			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	2	0,995	0,497	0,95	0,391
ERROR	60	31,262	0,521		
TOTAL	62	32,257			

ANEXO 11

Resultado obtenido en las probetas evaluadas para el cálculo de Hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa de 16 años, 27 años y bosque natural.

EDAD	TABLERO PROBETA	L1 (mm)	L2 (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	VOL. (cc)	PESO INICIAL (g)	DENSIDAD (g/cc)	ESPEORES (mm)		HINCHAMIENTO (%)	
								2 h.	24 h.	2 h.	24 h.
16	1 - A	25.69	26.26	12.07	8.14	4.4	0.54	21.87	23.7	81.2	96.4
16	1 - B	25.51	26.41	12.06	8.13	4.4	0.54	19.85	22.2	64.6	83.9
16	1 - C	26.19	25.66	11.84	7.96	4.4	0.55	18.34	19.3	54.9	62.7
16	1 - D	25.65	26.22	11.83	7.96	3.8	0.48	19.35	20.2	63.6	70.6
16	1 - E	25.68	26.22	11.88	8.00	4.4	0.55	20.20	22.3	70.0	87.5
16	1 - F	26.07	25.64	11.88	7.94	4.5	0.57	20.03	21.5	68.6	81.2
16	1 - G	26.16	25.75	11.83	7.97	4.5	0.56	18.95	19.8	60.2	67.1
16	1 - H	26.53	25.67	11.93	8.12	4.2	0.52	19.73	21.3	65.4	78.5
16	1 - I	26.14	25.70	11.84	7.95	4.6	0.58	19.08	21.2	61.1	78.9
16	1 - J	26.14	25.71	11.85	7.96	4.6	0.58	19.35	21.0	63.3	77.0
16	2 - A	25.24	25.16	12.11	7.69	4.5	0.59	18.25	19.6	50.7	62.2
16	2 - B	25.44	25.23	12.08	7.75	4.3	0.55	17.58	18.8	45.5	55.5
16	2 - C	25.13	25.34	11.93	7.60	4.6	0.61	16.97	18.1	42.2	52.1
16	2 - D	25.31	25.17	12.19	7.77	4.6	0.59	19.19	20.6	57.4	68.7
16	2 - E	25.17	25.26	12.10	7.69	4.1	0.53	16.98	18.1	40.3	49.5
16	2 - F	25.20	25.26	12.08	7.69	4.4	0.57	17.50	18.6	44.9	53.8
16	2 - G	25.03	25.36	12.05	7.65	4.7	0.61	17.29	18.6	43.5	54.2
16	2 - H	25.36	25.26	12.15	7.78	4.2	0.54	16.72	17.8	37.6	46.4
16	2 - I	25.10	25.29	12.16	7.72	4.4	0.57	17.51	18.9	44.0	55.7
16	2 - J	25.11	24.55	12.08	7.45	4.6	0.62	17.36	18.6	43.7	54.1
16	3 - A	25.37	25.47	11.92	7.70	4.7	0.61	19.19	20.9	61.0	75.3
16	3 - B	25.09	25.12	11.82	7.45	4.5	0.60	19.13	21.1	61.8	78.4
16	3 - C	25.30	25.24	11.88	7.59	4.6	0.61	19.40	21.0	63.3	76.4
16	3 - D	25.34	25.23	11.84	7.57	4.5	0.59	19.33	20.7	63.3	75.1
16	3 - E	25.23	25.16	11.79	7.48	4.6	0.61	19.35	20.9	64.1	77.4
16	3 - F	25.25	25.33	11.70	7.48	4.2	0.56	18.31	20.0	56.5	70.6
16	3 - G	25.28	25.06	11.90	7.54	4.4	0.58	19.23	20.8	61.6	74.5
16	3 - H	25.30	25.12	11.84	7.52	4.6	0.61	19.71	21.1	66.5	77.8
16	3 - I	25.29	25.23	11.66	7.44	4.3	0.58	18.37	19.8	57.5	69.6
16	3 - J	25.28	25.23	11.90	7.59	4.5	0.59	19.22	20.8	61.5	74.4
27	1 - A	25.23	25.41	11.70	7.50	4.5	0.60	15.39	16.60	31.5	41.9
27	1 - B	25.23	25.25	11.75	7.49	4.5	0.60	16.17	17.26	37.6	46.9
27	1 - C	25.65	25.33	11.70	7.60	4.4	0.58	16.14	17.21	37.9	47.1
27	1 - D	25.17	25.15	11.84	7.50	4.4	0.59	15.65	16.69	32.2	41.0
27	1 - E	25.37	25.38	11.89	7.66	4.5	0.59	16.96	18.30	42.6	53.9
27	1 - F	25.13	25.35	11.92	7.59	4.6	0.61	17.35	18.55	45.6	55.6
27	1 - G	25.19	25.24	11.98	7.62	4.6	0.60	17.30	18.50	44.4	54.4
27	1 - H	25.17	25.28	11.77	7.49	4.5	0.60	15.85	17.02	34.7	44.6
27	1 - I	25.23	25.36	11.99	7.67	4.5	0.59	17.02	18.29	42.0	52.5
27	1 - J	25.28	25.48	11.75	7.57	4.6	0.61	15.76	16.74	34.1	42.5
27	2 - A	25.00	25.36	12.14	7.70	4.3	0.56	17.23	18.50	41.9	52.4
27	2 - B	25.34	25.39	12.10	7.78	4.3	0.55	16.90	18.04	39.7	49.1
27	2 - C	25.25	25.47	12.30	7.91	4.6	0.58	17.72	19.13	44.1	55.5
27	2 - D	25.27	25.34	12.03	7.70	4.2	0.55	16.82	17.83	39.8	48.2
27	2 - E	25.38	25.35	12.17	7.83	4.4	0.56	17.17	18.32	41.1	50.5
27	2 - F	25.26	25.37	12.10	7.75	4.4	0.57	16.50	18.11	36.4	49.7
27	2 - G	25.35	25.61	12.19	7.91	4.6	0.58	18.00	19.01	47.7	55.9
27	2 - H	25.35	25.40	11.97	7.71	4.1	0.53	16.28	17.58	36.0	46.9
27	2 - I	25.26	24.75	12.14	7.59	4.1	0.54	16.76	17.90	38.1	47.4
27	2 - J	25.46	25.42	12.19	7.89	4.5	0.57	17.67	18.86	45.0	54.7
27	3 - A	25.32	25.39	11.82	7.60	4.0	0.53	15.78	16.81	33.5	42.2
27	3 - B	25.30	25.03	12.16	7.70	4.5	0.58	19.12	20.54	57.2	68.9
27	3 - C	25.43	25.30	12.04	7.75	4.4	0.57	18.40	19.74	52.8	64.0
27	3 - D	25.22	25.38	12.10	7.75	4.5	0.58	17.50	19.29	44.6	59.4
27	3 - E	25.24	25.44	12.04	7.73	4.5	0.58	17.39	18.44	44.4	53.2
27	3 - F	25.27	25.18	12.13	7.72	4.5	0.58	17.47	18.72	44.0	54.3
27	3 - G	25.34	25.29	11.96	7.66	4.5	0.59	18.17	19.70	51.9	64.7
27	3 - H	25.57	25.46	12.16	7.92	4.3	0.54	18.40	19.78	51.3	62.7
27	3 - I	25.28	25.09	12.04	7.64	4.5	0.59	17.28	18.63	43.5	54.7
27	3 - J	25.33	25.42	12.23	7.87	4.5	0.57	19.15	20.77	56.6	69.8

EDAD	TABLERO PROBETA	L1 (mm)	L2 (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	VOL. (cc)	PESO INICIAL (g)	DENSIDAD (g/cc)	ESPESORES (mm)		HINCHAMIENTO (%)	
								2 h.	24 h.	2 h.	24 h.
BN	1 - A	26.40	25.75	11.71	7.96	4.4	0.55	18.22	18.92	55.6	61.6
BN	1 - B	25.64	26.41	11.26	7.62	4.0	0.52	14.40	14.89	27.9	32.2
BN	1 - C	25.82	25.64	11.80	7.81	5.1	0.65	19.82	20.97	68.0	77.7
BN	1 - D	25.91	25.81	11.65	7.79	5.0	0.64	19.98	21.24	71.5	82.3
BN	1 - E	26.45	25.69	11.30	7.68	4.0	0.52	14.13	14.44	25.0	27.8
BN	1 - F	25.69	26.27	11.41	7.70	4.0	0.52	15.55	15.90	36.3	39.4
BN	1 - G	25.67	26.40	11.37	7.71	4.3	0.56	15.44	16.05	35.8	41.2
BN	1 - H	25.74	26.37	11.37	7.72	4.1	0.53	14.66	15.05	28.9	32.4
BN	1 - I	26.46	25.68	11.42	7.76	4.3	0.55	15.40	16.03	34.9	40.4
BN	1 - J	25.64	26.40	11.22	7.59	3.7	0.49	13.79	14.47	22.9	29.0
BN	2 - A	25.85	25.81	11.76	7.85	5.0	0.64	19.09	20.44	62.3	73.8
BN	2 - B	25.77	24.88	11.66	7.48	3.7	0.49	17.75	18.72	52.2	60.5
BN	2 - C	25.70	25.51	11.69	7.66	4.1	0.53	18.99	19.94	62.4	70.6
BN	2 - D	26.25	25.77	11.70	7.91	4.6	0.58	18.67	20.87	59.6	78.4
BN	2 - E	25.65	25.81	11.60	7.68	4.4	0.57	18.11	19.30	56.1	66.4
BN	2 - F	26.66	25.74	11.77	8.08	4.8	0.59	19.22	20.30	63.3	72.5
BN	2 - G	25.23	25.70	11.60	7.52	4.1	0.55	17.79	19.27	53.4	66.1
BN	2 - H	25.75	27.02	11.68	8.13	4.8	0.59	18.42	19.72	57.7	68.8
BN	2 - I	25.77	24.37	11.53	7.24	3.4	0.47	16.94	17.94	46.9	55.6
BN	2 - J	25.83	25.57	11.57	7.64	4.3	0.56	18.64	20.03	61.1	73.1
BN	3 - A	25.89	25.95	11.68	7.85	5.1	0.65	19.83	20.55	69.8	75.9
BN	3 - B	25.67	26.49	11.57	7.87	4.1	0.52	17.67	18.23	52.7	57.6
BN	3 - C	25.77	26.33	11.71	7.95	4.6	0.58	18.34	19.38	56.6	65.5
BN	3 - D	26.06	25.77	11.31	7.60	3.3	0.43	14.44	15.18	27.7	34.2
BN	3 - E	25.73	26.00	11.79	7.89	4.8	0.61	19.25	20.67	63.3	75.3
BN	3 - F	25.97	25.73	12.01	8.03	5.0	0.62	19.63	20.01	63.4	66.6
BN	3 - G	26.11	25.78	11.24	7.57	3.8	0.50	13.74	14.35	22.2	27.7
BN	3 - H	25.78	26.22	11.70	7.91	4.8	0.61	18.60	19.61	59.0	67.6
BN	3 - I	25.70	26.06	11.64	7.80	5.0	0.64	18.46	19.54	58.6	67.9
BN	3 - J	26.40	25.65	11.21	7.59	3.6	0.47	13.74	14.05	22.6	25.3

ANEXO 12

Análisis de Varianza del Hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas en los tableros fabricados con partículas de madera de plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	HINCHAMIENTO							
		2HORAS				24HORAS			
		SC	CM	Fcal	Signif.	SC	CM	Fcal	Signif.
EDAD	2	3347	1673	12,13	**	4511	2255	12,14	**
ERROR	87	12005	138			16160	186		
TOTAL	89	15352				20671			

ANEXO 13

Prueba de Tukey para comparaciones pareadas de Hinchamiento a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros por niveles de edades estudiados

a. Hinchamiento a las 2 horas

General Linear Model

Factor Type Levels Values
Ed fixed 3 1 2 BN

Analysis of Variance for Hinchami2, using adjusted ss for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ed	2	3346.5	3346.5	1673.3	12.13	0.000
Error	87	12005.4	12005.4	138.0		
Total	89	15352.0				

Tukey 95.0% simultaneous confidence intervals

Response Variable Hinchami
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
2	-22.15	-14.92	-7.692	(-----*-----)
BN	-15.30	-8.07	-0.842	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-20 -10 0 10

Ed = 2 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
BN	-0.3777	6.850	14.08	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-20 -10 0 10

Tukey simultaneous tests

Response Variable Hinchami
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
Ed	-14.92	3.033	-4.919	0.0000
BN	-8.07	3.033	-2.661	0.0249

Ed = 2 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	P-Value
Ed	6.850	3.033	2.258	0.0673

b. Hinchamiento a las 24 horas

General Linear Model

Factor Type Levels Values
 Ed fixed 3 1 2 BN

Analysis of Variance for Hinchami24, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ed	2	4510.5	4510.5	2255.3	12.14	0.000
Error	87	16160.1	16160.1	185.7		
Total	89	20670.7				

Tukey 95.0% Simultaneous Confidence Intervals

Response Variable Hinchami
 All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
2	-25.08	-16.70	-8.311	(-----*-----)
BN	-20.79	-12.40	-4.018	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
 -24 -12 0 12

Ed = 2 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
BN	-4.092	4.293	12.68	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+
 -24 -12 0 12

Tukey simultaneous tests

Response Variable Hinchami
 All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
Ed	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	-16.70	3.519	-4.745	0.0000
BN	-12.40	3.519	-3.525	0.0020

Ed = 2 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
Ed	of Means	Difference	T-Value	P-Value
BN	4.293	3.519	1.220	0.4446

ANEXO 14

Resultado obtenido en las probetas evaluadas para el cálculo de Absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas de inmersión en agua en los tableros elaborados con residuos de madera de Marupa de 16 años, 27 años y bosque natural

EDAD	TABLERO - PROBETA	L1 (mm)	L2 (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	VOL. (cc)	PESO INICIAL (g)	DENSIDAD (g/cc)	PESOS (g)		ABSORCIÓN (%)	
								2 h.	24 h.	2 h.	24 h.
16	1 - A	25.69	26.26	12.07	8.14	4.4	0.54	13.0	14.5	195.5	229.5
16	1 - B	25.51	26.41	12.06	8.13	4.4	0.54	11.3	13.0	156.8	195.5
16	1 - C	26.19	25.66	11.84	7.96	4.4	0.55	10.7	12.0	143.2	172.7
16	1 - D	25.65	26.22	11.83	7.96	3.8	0.48	10.5	11.9	176.3	213.2
16	1 - E	25.68	26.22	11.88	8.00	4.4	0.55	11.8	13.3	168.2	202.3
16	1 - F	26.07	25.64	11.88	7.94	4.5	0.57	11.7	13.5	160.0	200.0
16	1 - G	26.16	25.75	11.83	7.97	4.5	0.56	10.7	12.1	137.8	168.9
16	1 - H	26.53	25.67	11.93	8.12	4.2	0.52	11.5	12.9	173.8	207.1
16	1 - I	26.14	25.70	11.84	7.95	4.6	0.58	10.5	12.4	128.3	169.6
16	1 - J	26.14	25.71	11.85	7.96	4.6	0.58	11.3	13.1	145.7	184.8
16	2 - A	25.24	25.16	12.11	7.69	4.5	0.59	9.8	11.8	117.8	162.2
16	2 - B	25.44	25.23	12.08	7.75	4.3	0.55	9.4	11.1	118.6	158.1
16	2 - C	25.13	25.34	11.93	7.60	4.6	0.61	9.3	11.0	102.2	139.1
16	2 - D	25.31	25.17	12.19	7.77	4.6	0.59	10.3	12.4	123.9	169.6
16	2 - E	25.17	25.26	12.10	7.69	4.1	0.53	8.8	10.3	114.6	151.2
16	2 - F	25.20	25.26	12.08	7.69	4.4	0.57	9.1	11.1	106.8	152.3
16	2 - G	25.03	25.36	12.05	7.65	4.7	0.61	9.4	11.3	100.0	140.4
16	2 - H	25.36	25.26	12.15	7.78	4.2	0.54	9.0	10.5	114.3	150.0
16	2 - I	25.10	25.29	12.16	7.72	4.4	0.57	9.4	11.3	113.6	156.8
16	2 - J	25.11	24.55	12.08	7.45	4.6	0.62	9.2	11.0	100.0	139.1
16	3 - A	25.37	25.47	11.92	7.70	4.7	0.61	11.3	13.2	140.4	180.9
16	3 - B	25.09	25.12	11.82	7.45	4.5	0.60	11.1	12.7	146.7	182.2
16	3 - C	25.30	25.24	11.88	7.59	4.6	0.61	11.2	13.3	143.5	189.1
16	3 - D	25.34	25.23	11.84	7.57	4.5	0.59	11.1	13.0	146.7	188.9
16	3 - E	25.23	25.16	11.79	7.48	4.6	0.61	10.8	13.3	134.8	189.1
16	3 - F	25.25	25.33	11.70	7.48	4.2	0.56	10.6	12.2	152.4	190.5
16	3 - G	25.28	25.06	11.90	7.54	4.4	0.58	11.0	12.8	150.0	190.9
16	3 - H	25.30	25.12	11.84	7.52	4.6	0.61	11.2	13.1	143.5	184.8
16	3 - I	25.29	25.23	11.66	7.44	4.3	0.58	10.8	12.5	151.2	190.7
16	3 - J	25.28	25.23	11.90	7.59	4.5	0.59	11.3	13.1	151.1	191.1
27	1 - A	25.23	25.41	11.70	7.50	4.5	0.60	8.6	10.1	91.1	124.4
27	1 - B	25.23	25.25	11.75	7.49	4.5	0.60	8.9	10.5	97.8	133.3
27	1 - C	25.65	25.33	11.70	7.60	4.4	0.58	8.7	10.2	97.7	131.8
27	1 - D	25.17	25.15	11.84	7.50	4.4	0.59	8.4	9.9	90.9	125.0
27	1 - E	25.37	25.38	11.89	7.66	4.5	0.59	9.0	10.5	100.0	133.3
27	1 - F	25.13	25.35	11.92	7.59	4.6	0.61	9.2	10.5	100.0	128.3
27	1 - G	25.19	25.24	11.98	7.62	4.6	0.60	9.2	10.4	100.0	126.1
27	1 - H	25.17	25.28	11.77	7.49	4.5	0.60	8.5	10.0	88.9	122.2
27	1 - I	25.23	25.36	11.99	7.67	4.5	0.59	9.1	10.6	102.2	135.6
27	1 - J	25.28	25.48	11.75	7.57	4.6	0.61	9.0	10.4	95.7	126.1
27	2 - A	25.00	25.36	12.14	7.70	4.3	0.56	9.1	10.7	111.6	148.8
27	2 - B	25.34	25.39	12.10	7.78	4.3	0.55	9.1	10.8	111.6	151.2
27	2 - C	25.25	25.47	12.30	7.91	4.6	0.58	9.7	11.3	110.9	145.7
27	2 - D	25.27	25.34	12.03	7.70	4.2	0.55	9.0	10.5	114.3	150.0
27	2 - E	25.38	25.35	12.17	7.83	4.4	0.56	9.6	11.1	118.2	152.3
27	2 - F	25.26	25.37	12.10	7.75	4.4	0.57	9.1	10.7	106.8	143.2
27	2 - G	25.35	25.61	12.19	7.91	4.6	0.58	10.0	11.5	117.4	150.0
27	2 - H	25.35	25.40	11.97	7.71	4.1	0.53	8.7	10.2	112.2	148.8
27	2 - I	25.26	24.75	12.14	7.59	4.1	0.54	8.5	10.0	107.3	143.9
27	2 - J	25.46	25.42	12.19	7.89	4.5	0.57	9.9	11.6	120.0	157.8
27	3 - A	25.32	25.39	11.82	7.60	4.0	0.53	8.3	9.8	107.5	145.0
27	3 - B	25.30	25.03	12.16	7.70	4.5	0.58	10.1	11.6	124.4	157.8
27	3 - C	25.43	25.30	12.04	7.75	4.4	0.57	9.7	11.3	120.5	156.8
27	3 - D	25.22	25.38	12.10	7.75	4.5	0.58	9.4	11.1	108.9	146.7
27	3 - E	25.24	25.44	12.04	7.73	4.5	0.58	9.4	11.0	108.9	144.4
27	3 - F	25.27	25.18	12.13	7.72	4.5	0.58	9.4	11.0	108.9	144.4
27	3 - G	25.34	25.29	11.96	7.66	4.5	0.59	9.7	11.4	115.6	153.3
27	3 - H	25.57	25.46	12.16	7.92	4.3	0.54	9.6	11.4	123.3	165.1
27	3 - I	25.28	25.09	12.04	7.64	4.5	0.59	9.4	10.7	108.9	137.8
27	3 - J	25.33	25.42	12.23	7.87	4.5	0.57	10.3	12.0	128.9	166.7

EDAD	TABLERO - PROBETA	L1 (mm)	L2 (mm)	ESPESOR INICIAL (mm)	VOL. (cc)	PESO INICIAL (g)	DENSIDAD (g/cc)	PESOS (g)		ABSORCIÓN (%)	
								2 h.	24 h.	2 h.	24 h.
BN	1 - A	26.40	25.75	11.71	7.96	4.4	0.55	10.5	11.6	138.6	163.6
BN	1 - B	25.64	26.41	11.26	7.62	4.0	0.52	8.6	9.4	115.0	135.0
BN	1 - C	25.82	25.64	11.80	7.81	5.1	0.65	11.7	13.2	129.4	158.8
BN	1 - D	25.91	25.81	11.65	7.79	5.0	0.64	11.8	13.2	136.0	164.0
BN	1 - E	26.45	25.69	11.30	7.68	4.0	0.52	8.6	9.3	115.0	132.5
BN	1 - F	25.69	26.27	11.41	7.70	4.0	0.52	9.2	10.0	130.0	150.0
BN	1 - G	25.67	26.40	11.37	7.71	4.3	0.56	9.2	10.2	114.0	137.2
BN	1 - H	25.74	26.37	11.37	7.72	4.1	0.53	8.8	9.7	114.6	136.6
BN	1 - I	26.46	25.68	11.42	7.76	4.3	0.55	9.4	10.4	118.6	141.9
BN	1 - J	25.64	26.40	11.22	7.59	3.7	0.49	8.4	9.1	127.0	145.9
BN	2 - A	25.85	25.81	11.76	7.85	5.0	0.64	11.6	13.2	132.0	164.0
BN	2 - B	25.77	24.88	11.66	7.48	3.7	0.49	9.7	10.6	162.2	186.5
BN	2 - C	25.70	25.51	11.69	7.66	4.1	0.53	10.4	11.6	153.7	182.9
BN	2 - D	26.25	25.77	11.70	7.91	4.6	0.58	11.5	13.0	150.0	182.6
BN	2 - E	25.65	25.81	11.60	7.68	4.4	0.57	10.4	11.8	136.4	168.2
BN	2 - F	26.66	25.74	11.77	8.08	4.8	0.59	12.0	13.1	150.0	172.9
BN	2 - G	25.23	25.70	11.60	7.52	4.1	0.55	10.0	11.3	143.9	175.6
BN	2 - H	25.75	27.02	11.68	8.13	4.8	0.59	11.5	12.8	139.6	166.7
BN	2 - I	25.77	24.37	11.53	7.24	3.4	0.47	9.1	9.7	167.6	185.3
BN	2 - J	25.83	25.57	11.57	7.64	4.3	0.56	11.0	11.9	155.8	176.7
BN	3 - A	25.89	25.95	11.68	7.85	5.1	0.65	11.7	13.1	129.4	156.9
BN	3 - B	25.67	26.49	11.57	7.87	4.1	0.52	10.3	11.4	151.2	178.0
BN	3 - C	25.77	26.33	11.71	7.95	4.6	0.58	11.0	12.2	139.1	165.2
BN	3 - D	26.06	25.77	11.31	7.60	3.3	0.43	8.3	9.1	151.5	175.8
BN	3 - E	25.73	26.00	11.79	7.89	4.8	0.61	11.3	12.9	135.4	168.8
BN	3 - F	25.97	25.73	12.01	8.03	5.0	0.62	12.0	13.0	140.0	160.0
BN	3 - G	26.11	25.78	11.24	7.57	3.8	0.50	8.4	9.2	121.1	142.1
BN	3 - H	25.78	26.22	11.70	7.91	4.8	0.61	11.2	12.5	133.3	160.4
BN	3 - I	25.70	26.06	11.64	7.80	5.0	0.64	11.4	12.6	128.0	152.0
BN	3 - J	26.40	25.65	11.21	7.59	3.6	0.47	8.2	8.8	127.8	144.4

ANEXO 15

Análisis de Varianza de Absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas en los tableros fabricados con partículas de madera de plantación y bosque natural.

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	ABSORCIÓN DE AGUA							
		2HORAS				24HORAS			
		SC	CM	Fcal	Signif.	SC	CM	Fcal	Signif.
EDAD	2	16965	8483	28,48	**	18197	9098	29,09	**
ERROR	87	25912	298			27210	313		
TOTAL	89	42877				45407			

ANEXO 16

Prueba de Tukey para comparaciones pareadas de absorción de agua a las 2 y 24 horas de inmersión en agua de los tableros por niveles de edades estudiados

a. Absorción de agua a las 2 horas

General Linear Model

Factor	Type	Levels	Values
Ed	fixed	3	1 2 BN

Analysis of Variance for abs2 (%), using adjusted ss for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ed	2	16965.2	16965.2	8482.6	28.48	0.000
Error	87	25911.9	25911.9	297.8		
Total	89	42877.1				

Tukey 95.0% simultaneous confidence intervals

Response Variable Abs2 (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
2	-40.86	-30.24	-19.62	(---*---)
BN	-13.00	-2.38	8.24	(---*---)

-----+-----+-----+-----
-25 0 25

Ed = 2 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
BN	17.24	27.86	38.48	(---*---)

-----+-----+-----+-----
-25 0 25

Tukey simultaneous tests

Response Variable Abs2 (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
Ed 2	-30.24	4.456	-6.787	0.0000
BN	-2.38	4.456	-0.535	0.8544

Ed = 2 subtracted from:

Level	Difference of Means	SE of Difference	Adjusted T-Value	Adjusted P-Value
BN	27.86	4.456	6.252	0.0000

b. Absorción de agua a las 24 horas

General Linear Model

Factor Type Levels Values
Ed fixed 3 1 2 BN

Analysis of Variance for abs24 (%), using adjusted ss for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ed	2	18196.8	18196.8	9098.4	29.09	0.000
Error	87	27210.3	27210.3	312.8		
Total	89	45407.1				

Tukey 95.0% simultaneous confidence intervals

Response Variable Abs24 (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
2	-45.71	-34.83	-23.95	(--*--)
BN	-27.88	-17.00	-6.12	(--*--)

-----+-----+-----+-----
-25 0 25

Ed = 2 subtracted from:

Ed	Lower	Center	Upper	
BN	6.942	17.82	28.70	(--*--)

-----+-----+-----+-----
-25 0 25

Tukey simultaneous tests

Response Variable Abs24 (%)
All Pairwise Comparisons among Levels of Ed

Ed = 1 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
Ed	of Means	Difference	T-Value	P-Value
2	-34.83	4.566	-7.627	0.0000
BN	-17.00	4.566	-3.724	0.0010

Ed = 2 subtracted from:

Level	Difference	SE of	Adjusted	
Ed	of Means	Difference	T-Value	P-Value
BN	17.82	4.566	3.903	0.0006