

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Facultad de Ciencias Forestales



**Influencia de la densidad de la madera
en la calidad de tableros de partículas
homogéneos**

Tesis para optar el Título de
INGENIERO FORESTAL

Tatiana Silvana Santillán Saldaña

Lima – Perú
2007

RESUMEN

Las industrias de tableros de partículas son una de las alternativas más factibles para el uso de los residuos producidos en las plantas de transformación mecánica de la madera. Por dicho motivo, los países industrializados han efectuado investigaciones y desarrollado técnicas para su aprovechamiento, entre los cuales se incluyen los de la industria de laminado. En este contexto, la cantidad de residuos generados en las fases de laminado y guillotinado en las plantas de chapas y triplay decorativo, llega hasta en un 20% de su volumen y, al estar en condición seca y con espesor uniforme, pueden ser una interesante fuente de materia prima para la manufactura de tableros de partículas.

En el presente trabajo se analizó la influencia de la densidad de la madera en la calidad de tableros de partículas homogéneos de densidad media, utilizando como materia prima residuos de chapas decorativas de las especies “higuerilla” (*Micranda spruceana* (Baillon) R. Shultes) y “cedro virgen” (*Cedrela montana*). De los resultados se obtuvo que los tableros de partículas no muestran diferencias significativas en la densidad para los cuatro niveles de mezcla estudiados, obteniéndose valores promedio de 0,60 g/cm³ a 0,62 g/cm³. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas en la variación de absorción de agua a las 2 horas en los niveles de mezcla estudiados, pero sí mostraron diferencias significativas en la absorción de agua a las 24 horas y en el hinchamiento a las 2 y 24 horas para un nivel de significancia de 5%.

Finalmente, se encontró que existen diferencias significativas en la resistencia a la tracción perpendicular al grano y en el módulo de rotura en flexión estática en los niveles de mezcla estudiados, observándose que a mayor proporción de residuos de “higuerilla” en el tablero, mayor es la resistencia a la tracción perpendicular al grano y a mayor proporción de residuos de “cedro virgen”, mayor es el módulo de rotura a la flexión estática.

ÍNDICE

Página

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 CARACTERISTICAS DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO	2
2.2 MATERIA PRIMA	2
2.3 DENSIDAD DE LA MADERA.....	3
2.4 GEOMETRÍA DE LAS PARTICULAS.....	6
2.5 EFECTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL ENCOLADO Y FRAGUADO.....	6
2.6 ADHESIVO Y ENCOLADO.....	7
2.7 PRENSADO	12
2.8 MEZCLA DE ESPECIES.....	13
2.9 CONTROL DE CALIDAD.....	13
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>	16
3.2.3 <i>Equipos e instrumentos</i>	16
3.3 METODOLOGÍA.....	17
3.3.1 <i>Obtención de los residuos de chapas decorativas</i>	17
3.3.2 <i>Identificación de los residuos de chapas</i>	18
3.3.3 <i>Análisis previos de las muestras</i>	18
3.3.4 <i>Preparación del material para la elaboración del tablero</i>	18
3.3.5 <i>Producción de los tableros</i>	20
3.3.6 <i>Evaluación de los tableros</i>	22
3.3.7 <i>Diseño estadístico</i>	23

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 COEFICIENTE DE ESBELTEZ	24
4.2 DENSIDAD BÁSICA DE MUESTRAS DE CHAPAS DECORATIVAS	24
4.3 DETERMINACIÓN DEL pH	24
4.4 SUPERFICIE ESPECÍFICA	25
4.5 RESINOSIDAD ESPECÍFICA	25
4.6 ENSAYO FÍSICO.....	26
4.6.1 <i>Densidad de los tableros</i>	26
4.6.2 <i>Contenido de humedad de los tableros</i>	27
4.6.3 <i>Absorción de agua</i>	28
4.6.4 <i>Hinchamiento</i>	30
4.7 ENSAYO MECÁNICO	31
4.7.1 <i>Tracción Perpendicular</i>	31
4.7.2 <i>Módulo de Rotura en Flexión Estática</i>	32
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	36
ANEXO 1	39
ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LA DENSIDAD PROMEDIO DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES	39
ANEXO 2	40
ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE AGUA A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.....	40
ANEXO 3	41
PRUEBA COMPARATIVA DE TUKEY PARA LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.....	41
ANEXO 4	42
ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE AGUA A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.....	42
ANEXO 5	43
ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.	43

ANEXO 6	44
ANÁLISIS DE VARIANCA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.....	44

Lista de cuadros

Página

CUADRO 1	SUPERFICIE (M²) EN FUNCIÓN DEL ESPESOR Y DE LA DENSIDAD DE CUATRO MADERAS DE CLIMAS TEMPLADOS PARA 100 G DE PARTÍCULAS.....	9
CUADRO 2	CANTIDAD DE RESINA (G/M²) RELACIONADA CON EL ESPESOR, SUPERFICIE Y DENSIDAD DE CUATRO MADERAS DE CLIMAS TEMPLADOS.	10
CUADRO 3	PROPORCIÓN EN PESO DE CADA ESPECIE, PARA CADA TRATAMIENTO.....	20
CUADRO 4	VALORES DE SUPERFICIE Y RESINOSIDAD ESPECÍFICAS, PARA CADA TRATAMIENTO	26
CUADRO 5	VALORES PROMEDIO DE DENSIDAD DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS.....	27
CUADRO 6	VALORES PROMEDIO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS.....	28
CUADRO 7	VALORES PROMEDIO DE ABSORCIÓN DE AGUA (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS.	29
CUADRO 8	CUADRO 8. VALORES PROMEDIO DEL ENSAYO DE HINCHAMIENTO (%) A LAS 2 Y 24 HORAS DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS.	30
CUADRO 9	VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR AL GRANO DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS	31
CUADRO 10	VALORES PROMEDIO DEL MÓDULO DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES TRATAMIENTOS.	33

Lista de figuras

Página

FIGURA 1	RELACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA MADERA CON LA CARGA DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA DE TABLEROS DE PARTÍCULAS DE DENSIDADES 0,5 A 0,8 G/CM3.....	5
FIGURA 2	FUERZAS QUE GENERAN EL FRAGUADO ADHESIVO DE LA MADERA	11

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los tableros de partículas son una alternativa de uso de los residuos producidos en la industria de transformación mecánica de la madera, razón por la cual los países industrializados han efectuado investigaciones y desarrollado técnicas para el aprovechamiento de desechos industriales, entre los cuales se encuentran los de la industria del laminado.

En este sentido, la producción mundial de tableros de partículas durante el año 2003 fue de 68'401,666 m³, mientras que en el Perú se importó 1625 m³, que equivalen a \$539,000.00 anuales, procedentes mayormente de China, USA, Canadá e Indonesia.

En nuestro país, existe solo una fábrica de tableros de partículas que utiliza como materia prima principal al bagazo de caña de azúcar, pero debido a su creciente escasez y costo, están incluyendo en el proceso, hasta un 50% de astillas de madera de las especies pino y eucalipto. Los principales inconvenientes de instalar una planta de tableros a base de madera son la heterogeneidad del bosque, falta de abastecimiento sostenido de materia prima y la obtención de residuos de la transformación mecánica de diferentes especies y tamaños. Asimismo, la industria de enchapes y triplay decorativo, en las etapas de laminado y guillotinado pierde entre un 10% a 20% del volumen total de chapas elaboradas. Estos residuos, que se caracterizan por su espesor uniforme, no son aprovechados eficientemente y se los utiliza, en el mejor de los casos, para la generación de energía calorífica en los calderos de las fábricas.

En la presente investigación se determinó la influencia de la densidad de la madera en la calidad de tableros de partículas homogéneos de densidad media, utilizando como materia prima residuos de la producción de chapas decorativas de las especies “higuerilla” (*Micrandra spruceana* (Baillon) R. Shultes) y “cedro virgen” (*Cedrela montana*), usadas en la manufactura de triplay decorativo. Estos resultados contribuirán a darle un mayor valor agregado a dichos residuos e incrementar el aprovechamiento del recurso forestal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CARACTERISTICAS DE LAS ESPECIES EN ESTUDIO

Familia : Meliaceae

Nombre científico : *Cedrela montana*

Nombre común : Cedro virgen

El “cedro virgen” es una especie cuya madera presenta una densidad básica de 0,42, textura media, grano recto y algunas veces entrecruzado y brillo medio. Su veteado es formado por arcos superpuestos en corte tangencial. Asimismo, tiene aptitud de ser usada en chapas decorativas, ebanistería, puertas apaneladas, artesanías y tallados. (Larco, 2000).

Familia : Euphorbiaceae

Nombre científico : *Micranda spruceana* (Baillon) R. Schultze

Nombre común : Higuerilla

La especie “higuerilla” presenta una densidad básica de 0,52, textura media, grano recto, brillo bajo y veteado en arcos superpuestos en corte tangencial; su madera es utilizada para chapas decorativas, muebles, artesanías y tallado (Toledo y Rincón, 1996).

2.2 MATERIA PRIMA

Los países industrializados han desarrollado técnicas para incluir materias primas con otras características de forma u tamaño, lo cual ha permitido el aprovechamiento de residuos provenientes de otras industrias (Poblete, 1979).

En la fabricación de tableros de partículas se usa tradicionalmente como materia prima partículas de madera, las cuales se caracterizan por tener una relación entre longitud y espesor, denominado coeficiente de esbeltez (Kollmann, 1975).

Puede ser factible el uso de residuos o subproductos de la transformación mecánica de la

madera, ya que su costo es menor al de la madera en troza y se utiliza un material que, sino se emplea, queda abandonado en los patios de almacenamiento, ocasionando problemas de contaminación, o es quemado para producir energía (Poblete, 2001).

Las propiedades que presentan los tableros de partículas producidos con residuos de la industria de chapas y contrachapados, demuestran que estos subproductos son adecuados para la fabricación de los tableros. Además, este tipo de residuos no presenta corteza y ha sido sometido a una extracción en agua caliente durante el tratamiento térmico, lo que normalmente hace al material más homogéneo (Poblete ,2001).

2.3 DENSIDAD DE LA MADERA

Si bien no existe una variable que en forma aislada defina a una especie como la más apropiada para fabricar tableros de partículas, la densidad es considerada por muchos autores como la variable de la madera que más afecta a sus propiedades (Poblete, 2001).

La densidad de la madera afecta directamente, junto con la compactación del manto, a la densidad final del tablero. Una variación en la densidad de la madera obliga a un ajuste en la compactación del manto si se desea mantener constante la densidad final del tablero. Sin embargo, las características de los tableros producidos con diferentes densidades de madera y grado de compactación serán distintas, aun cuando la densidad del tablero permanezca constante (Kelly, 1977).

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

Un importante efecto de la densidad de la madera, es su influencia en el consumo del adhesivo,

en el volumen de partículas a ser comprimido y, por consiguiente, en las resistencias mecánicas y el acabado de la superficie del tablero (Poblete, 1991).

Una forma de relacionar la densidad de la madera con la densidad del tablero es la razón de compresión (RC), que corresponde al cociente entre la densidad del tablero y la densidad de la madera. Esta razón se debe calcular considerando la densidad de la madera comprimida y en estado normal, eliminándose la participación del adhesivo (Moslemi, 1974).

Debido a que una mayor compresión permite un mejor contacto entre las partículas y una mayor eficiencia del adhesivo, sin importar la densidad de la especie empleada, la razón de compresión siempre debe ser mayor a uno. Cuando la razón de compresión es menor a uno, el tablero tiene una densidad menor al de la madera utilizada y no habrá compactación del material (Poblete, 2001).

Por otro lado, asumir 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, tales como la configuración de las partículas, especies, densidad del material, cantidad de resina y el contenido de humedad a la que fueron prensadas las partículas (Kelly, 1977).

Para una misma densidad del tablero, un incremento en la densidad de la materia prima provoca una disminución de todas las propiedades del tablero (Moslemi, 1974).

La Figura 1 muestra la estrecha relación que existe entre la densidad de la madera y la carga de rotura en flexión estática, en la cual se observa que para fabricar un tablero con una madera de densidad $0,7 \text{ g/cm}^3$, que tenga valores de carga de rotura similares a los obtenidos con una madera de $0,4 \text{ g/cm}^3$, se debe aumentar la densidad del tablero de $0,5 \text{ g/cm}^3$ a $0,6 \text{ g/cm}^3$. Debe de tenerse presente que el modelo presentado podría verse afectado por la participación de una especie cuyas características químicas pudieran afectar el encolado y el fraguado del adhesivo (Stegmann y Durst 1974, citado por Poblete, 2001).

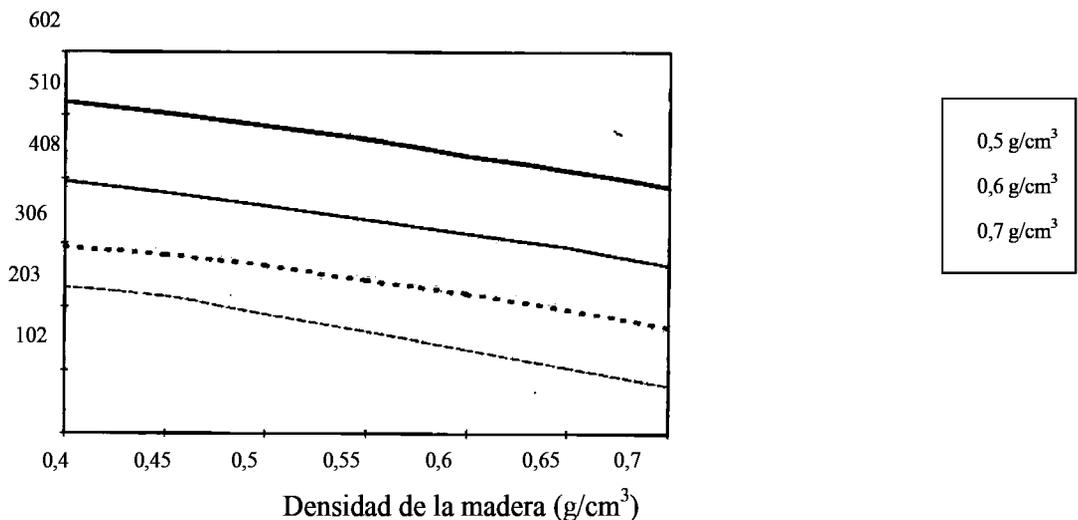
La densidad de la madera influye en el consumo de adhesivo, en el volumen de partículas a ser comprimido y, por consiguiente, en la resistencia mecánica y el acabado de la superficie del tablero (Vital, et al, 1974).

La densidad de la madera no sólo afecta las propiedades del tablero, sino que además influye sobre el proceso en general. Las maderas más livianas requieren de menor energía para cortarlas, secarlas y transportarlas durante el proceso de transformación (Poblete, 2001).

La densidad de la madera afecta directamente, junto con la compactación de la estera, a la densidad final del tablero; además, una variación en su densidad obliga a un ajuste en la compactación de la estera si se desea mantener constante la densidad final del tablero. Sin embargo, las características de los tableros producidos con maderas de diferentes densidades y grados de compactación serán distintas, aún cuando la densidad del tablero permanezca constante (Kelly, 1977).

Flexión Estática

Rotura (Kg/cm^2)



Fuente: Poblete (2001)

Figura 1 Relación de la densidad de la madera con la carga de rotura en flexión estática de tableros de partículas de densidades 0,5 a 0,8 g/cm^3

Si se busca llegar a una determinada densidad final de tablero utilizando dos especies de diferente densidad, la especie de menor densidad deberá ser comprimida en una proporción

mayor que la especie de densidad más alta; es decir, el volumen de madera a incluir en un tablero de densidad dada, es inversamente proporcional a la densidad de la especie. Por este motivo, al incluir especies de menor densidad se requiere de una mayor compactación y por tanto se logra un mayor contacto entre las partículas con un mejoramiento en la eficiencia del adhesivo (Poblete, 2001).

2.4 GEOMETRÍA DE LAS PARTICULAS

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

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

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

2.5 EFECTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL ENCOLADO Y FRAGUADO

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

Los extractivos de la madera determinan el valor del pH e influyen sobre el proceso de encolado. Este efecto se debe a que las reacciones químicas que ocurren durante el fraguado de los adhesivos convencionales siguen su curso óptimo con un determinado rango del valor del pH. Para la urea formaldehído el valor fluctúa entre un pH de 3,0 y 3,5 (Poblete, 2001).

La mayoría de maderas utilizadas en la fabricación de tableros de partículas presentan valores de pH que fluctúan entre 2 y 5, además son escasas las especies que poseen un pH mayor a 7,0 (Poblete, 2001).

2.6 ADHESIVO Y ENCOLADO

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

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

El contenido de cola y su distribución son factores importantes en la fabricación de tableros de

partículas, determinando sus propiedades e incidiendo además en los costos del proceso de producción. (Kollmann et. Al., 1984). Además, 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, es decir, una especie más densa presentará menor área superficial específica y por tanto la mayor disponibilidad de resina por unidad de área de partículas (Moslemi, 1974).

La resina es calculada proporcionalmente al peso seco de las partículas y no en función de su superficie; por lo tanto son las especies densas las que se benefician de mayor cantidad de resina por m². Sin embargo, el hecho de tener una mayor cantidad de resina no significa que la resistencia del tablero sea superior, pues a igual densidad del tablero, una especie de baja densidad permite producir tableros de resistencia superior a las obtenidas con maderas densas (Maloney, 1977).

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

Un concepto de suma importancia es la superficie específica, que es la superficie total (m²) existente en 100 g. de partículas secas y que está relacionada con la densidad de la madera y el espesor de las partículas. En el Cuadro 1 se muestra la superficie en metros cuadrados, en función del espesor y de la densidad, de cuatro maderas de climas templados para 100 g. de partículas. El otro concepto es la resinosidad específica, que es la cantidad específica de resina (g), por metro cuadrado de superficie de partículas secas (Ginzel y Peraza, 1966).

En el Cuadro 2 se observa la cantidad de resina relacionada con el espesor, superficie y densidad de cuatro maderas de climas templados (Ginzel y Peraza, 1966).

El adhesivo es, junto con la madera, el constituyente más importante en el tablero y sus propiedades dependen de las reacciones producidas entre ellas. El tipo de adhesivo, la cantidad

y la composición de la mezcla de adhesivo y aditivos determinan las propiedades y el uso final que se le dará al tablero. En este contexto, en la manufactura de tablero de partículas el adhesivo se aplica en forma de pequeñas gotas sobre las partículas secas en movimiento. Para esto se emplean adhesivos en estado líquido, con contenido de sólidos de 40% a 70%. La ventaja que ofrece su empleo reside en su capacidad para adaptarse a la superficie irregular de las partículas (Poblete, 2001).

Al ser la madera un material poroso, durante el encolado de las partículas se produce inicialmente una penetración del adhesivo en la madera, mientras éste permanece en estado líquido produciendo una zona de madera que quede impregnada por el adhesivo. En estas zonas se reconocen los denominados “dedos de cola” que se forman luego de fraguar el adhesivo que ha penetrado por capilaridad. Con el fraguado, se elimina el medio portador de la resina y se tiene como resultado una unión en la que se distinguen tres zonas: una porción de madera intacta, una zona impregnada con el adhesivo y una línea de cola donde solo se encuentran adhesivos, tal como se muestra en la Figura 2. En él se reconocen tres tipos de fuerzas que mantienen la unión:

Cuadro 1 Superficie (m^2) en función del espesor y de la densidad de cuatro maderas de climas templados para 100 g de partículas.

Espesor	Tipo de madera
---------	----------------

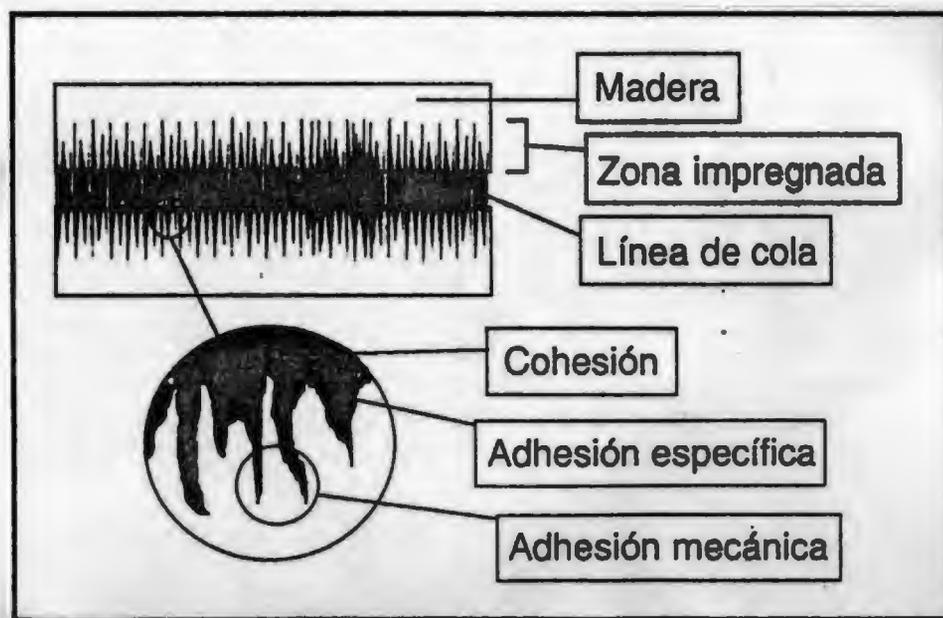
(mm)	Chopo (<i>Populus sp.</i>) (db=0,36g/cm ³)	Abeto (<i>Pseudotsuga sp.</i>) (db=0,43g/cm ³)	Abedul (<i>Betula sp.</i>) (db=0,60g/cm ³)	Haya (<i>Fagus sp.</i>) (db=0,68g/cm ³)
1,0	0,55	0,47	0,33	0,29
0,5	1,10	0,94	0,66	0,59
0,25	2,20	1,88	1,32	1,18
0,1	5,50	4,70	3,30	2,90
0,05	11,00	9,40	6,60	5,90

Fuente: (Ginzel y Peraza, 1966).

Cuadro 2 Cantidad de resina (g/m²) relacionada con el espesor, superficie y densidad de cuatro maderas de climas templados.

Espesor (mm)	Tipo de madera			
	Chopo (<i>Populus sp.</i>) (db=0,36g/cm ³)	Abeto (<i>Pseudotsuga sp.</i>) (db=0,43g/cm ³)	Abedul (<i>Betula sp.</i>) (db=0,60g/cm ³)	Haya (<i>Fagus sp.</i>) (db=0,68g/cm ³)
1,00	14,4	17,2	24,00	27,20
0,50	7,20	8,60	12,00	13,60
0,25	3,60	4,30	6,00	6,80
0,10	1,44	1,72	2,40	2,72
0,05	0,72	0,86	1,20	1,36

Fuente: (Ginzel y Peraza, 1966).



Fuente: Poblete (2001)

Figura 2 Fuerzas que generan el fraguado adhesivo de la madera

- a) De cohesión, que corresponde a la fuerza desarrollada entre las moléculas del adhesivo. Este tipo de fuerza se forma solo en la línea de cola.
- b) De adhesión específica, que es una fuerza de naturaleza química, desarrollada entre una molécula de adhesivo y la superficie de la madera.
- c) De adhesión mecánica, que corresponde al anclaje mecánico, provocado por la penetración del adhesivo en la madera (zona impregnada)

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

La introducción de resinas de ureaformaldehído en la industria de la madera, provocó una significativa revolución tecnológica y su éxito se basa en la posibilidad de llevar un control estricto sobre la reacción de fraguado, variando el valor del pH. Mientras este adhesivo esté en estado líquido, se le puede aplicar sobre la superficie de la madera (Fondo de Fomento Productivo, 1991).

La aplicación de los aditivos junto a los adhesivos, permite controlar el proceso de fraguado y otorgar a los tableros propiedades específicas que definen su uso. Entre los aditivos para controlar el proceso de fraguado se encuentran los catalizadores y retardantes, mientras que los aditivos más conocidos para otorgar características especiales son los biocidas, ignífugos, hidrófobos y captadores de formaldehído (Poblete, 1991)

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

2.7 PRENSADO

El prensado es una de las etapas más importantes en la producción de tableros de partículas y tiene como función densificar el material que compone el tablero y fraguar el adhesivo. Durante el prensado se produce un proceso mecánico de deformación de las partículas por flexión y compresión, un calentamiento del material por la aplicación de temperatura y un proceso químico que conduce al fraguado de la resina sintética por poli condensación. Durante este proceso las capas externas del manto son las primeras en recibir energía térmica de los platos, se evapora la humedad y fluye hacia el centro, conduciendo energía. De esta forma aumenta gradualmente la temperatura y la presión de vapor en el centro del tablero. Al final del prensado se disminuye la presión para permitir el escape del vapor y gases de la reacción del adhesivo con la madera (Poblete, 2001).

La temperatura influye sobre la plastificación de las partículas y acelera la solidificación del adhesivo. Generalmente se necesita menos presión para compactar el material, a medida que aumenta la temperatura de los platos, lo cual resulta de un aceleramiento de la plastificación de la lignina. El vapor de agua que durante el prensado se genera en las capas externas, se traslada hacia las capas centrales, transportando energía calórica y variando el contenido de humedad del manto. La temperatura de la zona central del tablero, debe alcanzar a 100°C para que fragüe el adhesivo (Poblete, 1991).

Debido a que la evaporación del agua es fundamental para lograr que el adhesivo fragüe correctamente, la temperatura de la parte central de la capa media es la que define, en parte, el tiempo de prensado. Un contenido de humedad demasiado alto en la capa central al finalizar el prensado puede provocar un soplado (separación de la zona central del tablero) o la formación de grietas y ampollas, producto de la concentración de vapor (Poblete, 2001).

2.8 MEZCLA DE ESPECIES

Los tableros elaborados con mezclas de especies, además de la influencia de las características inherentes a la especie (densidad, pH, permeabilidad), la distribución y comportamiento de las partículas de la capa interior bajo los efectos de la presión, están estrechamente ligados en su forma, principalmente su espesor (Cruz, 1976).

Al elaborar tableros de partículas utilizando mezclas de cuatro especies tropicales, si bien es cierto disminuyen las propiedades mecánicas de módulo de rotura y tensión perpendicular, mejora ligeramente la estabilidad dimensional (Maldonado, 1992).

2.9 CONTROL DE CALIDAD

Las propiedades físicas o mecánicas de los tableros es reflejo de la forma en la que participaron las variables de producción. Por otro lado, para asegurar una buena comercialización del tablero, se debe cumplir con ciertos niveles en sus propiedades, que garanticen la calidad del

producto para un uso determinado. Estas características son reguladas por normas técnicas que establecen como tomar muestras, formas de efectuar los ensayos y que determinen los requisitos mínimos de cada propiedad. Los controles se efectúan a lo largo de la línea de producción y pueden ser: calidad de la madera ingresada, componentes y estados de los adhesivos y aditivos, proceso de producción de partículas, proceso de secado y encolado, formación del tablero, dimensiones y escuadrado, propiedades físicas y mecánicas (Poblete, 2001).

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

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

Con respecto a la absorción, la madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera (Corporación Chilena de la Madera, 2003).

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

En un estudio efectuado con partículas de la especie tornillo de 9, 15, 24 y 29 años, se obtuvo que ninguno de los tableros producidos cumplió con las exigencias mínimas de ensayos en flexión y tracción perpendicular señaladas en las normas DIN y CSA Standard 0188-1975, el que presenta las mejores propiedades para las condiciones de trabajo es el elaborado con partícula de plantaciones de 24 años. Pero no satisface las exigencias mínimas para un determinado uso (Matos, 2003).

De acuerdo a una investigación realizada para la fabricación de tableros de partículas con mezcla de especies (aceite caspi, carahuasca, palo perro, shimbillo y mezclas entre ellos) de bosques secundarios, se observó que la estabilidad dimensional, en promedio para las especies en estudio, presenta un mejor comportamiento como mezcla que como tablero hecho de una sola especie (Bocanegra, 1994)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Pulpa y Papel, Paneles y de Ensayos Tecnológicos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 ESPECIE

Se utilizaron residuos de chapas decorativas de las especies “higuerilla” (*Micrandra spruceana* (Baillon) R. Shultes) y “cedro virgen” (*Cedrela montana*) procedentes de la zona de Aguaytia, distrito y provincia de Padre Abab, departamento de Ucayali.

3.2.2 INSUMOS

- Resina UF-603, con un 51% de contenido de sólidos.
- Catalizador Cloruro de amonio (ClNH_4).
- Agua.
- Parafina
- Otros

3.2.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Molino de discos
- Guillotina
- Malla No 1

- Tamices
- Estufa eléctrica
- Bandejas de aluminio
- Compresora de 2 atm. de presión
- Pistola pulverizadora
- Formador manual
- Prensa de platos calientes ORMA MACCHINE
- Topes metálicos de 12 mm. de espesor
- Placas metálicas
- Etiquetas codificadoras
- Prensa de ensayos tecnológicos TINIUS OLSEN
- Balanza analítica de 0,1 g. de precisión
- Vernier digital
- Otros

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 OBTENCIÓN DE LOS RESIDUOS DE CHAPAS DECORATIVAS.

Los residuos de chapas de “cedro virgen” e “higuerilla” se obtuvieron de la fase de guillotinado durante el proceso de producción de triplay decorativo de la empresa General Products Co S.A., localizada en el Distrito de Independencia, Departamento de Lima.

3.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CHAPAS.

La identificación anatómica de los residuos de chapas de las dos especies se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

3.3.3 ANÁLISIS PREVIOS DE LAS MUESTRAS.

A) DENSIDAD

Se determinó la densidad básica de las muestras de chapas, de acuerdo a lo estipulado por la norma ITINTEC 251.011 (1971).

B) DETERMINACIÓN DEL PH

Se efectuó de acuerdo al método recomendado por Johns y Niazi (1980). El pH se realizó sobre partículas secas producidas para la preparación de tableros.

3.3.4 PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DEL TABLERO

A) OBTENCIÓN DE LAS PARTÍCULAS

Los residuos de chapas de las especies en estudio fueron astillados en un molino de discos, al cual se le acondicionó un tamiz número 4 para obtener partículas con una geometría uniforme. Dichas partículas fueron nuevamente tamizadas con una malla para separar las partículas finas.

B) DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESBELTEZ.

De las partículas obtenidas luego del tamizado, se tomaron cuatro muestras de 200 unidades cada una tomadas al azar por especie, a las cuales se les tomó su largo y espesor. Luego se efectuó el cálculo del coeficiente de esbeltez con la siguiente expresión:

$$CE = \frac{L}{E}$$

Donde:

CE = Coeficiente de esbeltez

L = Longitud, en mm.

E = Espesor, en mm

C) SECADO DE LAS PARTÍCULAS

Las partículas fueron secadas en estufa a una temperatura de 80°C, hasta alcanzar un contenido de humedad de 6% en promedio. Luego fueron almacenadas en bolsas de plástico para evitar que absorban la humedad del medio.

D) MEZCLA DE ESPECIES

Para determinar la influencia de la densidad de la madera en la calidad de los tableros, en función a la proporción de la mezcla de especies, se realizaron los tratamientos indicados en el Cuadro 3.

Cuadro 3 Proporción en peso de cada especie, para cada tratamiento.

Tratamiento	Número de tableros	Especie			
		“Cedro virgen”		“Higuerilla”	
		%	Peso (g)	%	Peso (g)
A	3	100	1496,1		
B	3	50	748,0	50	748,0
C	3	75	1122,1	25	374,0
D	3	25	374,0	75	1122,1
E	3			100	1496,1

3.3.5 PRODUCCIÓN DE LOS TABLEROS

A) ESPECIFICACIONES DE LOS TABLEROS DE ENSAYO.

Dimensiones: 40 cm x 40 cm x 1,2 cm

Densidad: 0,6 g/cm³

Tipo: Homogéneo

Resinosidad: 10%

Contenido de humedad: 12%

Superficie específica

Se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Sesp} = \frac{0.2}{d \times e}$$

Donde:

Sesp: Superficie específica, en m² por 100 g de partículas secas

d : Densidad básica, en g/cm³

e : Espesor de las partículas, en mm

B) RESINOSIDAD ESPECÍFICA.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Resp} = \frac{R \times d \times e}{0.2}$$

Donde:

Resp: Resinosidad específica, en g /m²

R : Resinosidad, en g de resina por 100 g de partículas secas

d : Densidad básica, en g/cm³

e : Espesor de las partículas, en mm

C) ENCOLADO DE PARTÍCULAS.

El encolado de las partículas se efectuó utilizando el método de pulverización. La resina

empleada fue a base de Urea Formaldehido (UF-603).

D) FORMACION DEL “COLCHÓN”

Las particulas encoladas fueron depositadas en una formadora para conformar, mediante un pre-prensado manual, el colchon o manto de partículas a un 12% de humedad.

E) PRENSADO DEL “COLCHÓN”

El prensado del “colchón” de partículas se realizó en una prensa de platos calientes a una temperatura de 125 °C, una presion especifica de 10 Kg/cm² y por un tiempo de 12 minutos.

F) ENFRIAMIENTO DE LOS TABLEROS

Una vez prensados los tableros, fueron codificados y enfriados a temperatura ambiente antes de proceder a su escuadrado.

3.3.6 EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS

A) EVALUACIÓN FÍSICA:

Se evaluaron las siguientes propiedades físicas, en función a lo estipulado en las normas DIN:

	Norma DIN
Densidad	52361
Absorción de agua y variación de espesor	52364

B) EVALUACIÓN MECÁNICA:

Se evaluaron las siguientes propiedades mecánicas, en función a lo señalado en las normas DIN:

	Norma DIN
Resistencia a la flexión	52362
Tensión perpendicular	52365

3.3.7 DISEÑO ESTADÍSTICO

Los resultados de los ensayos físicos (Absorción del agua, hinchamiento) y mecánicos (flexión y tracción perpendicular) fueron evaluados estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA), tanto para los tableros preparados con una especie como para los tres tipos de mezclas, y cuyo modelo aditivo lineal fue:

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

Donde:

X_{ij} = Observación correspondiente a la i-esima repetición del i-esimo tratamiento

$U...$ = Medida de todas las observaciones del experimento

T_i = Parámetro que mide el efecto del i-esimo tratamiento.

E_{ij} = Término aleatorio denominado error, que mide el efecto que no puede ser explicado con la variabilidad entre tratamientos.

Además, los valores medios de resistencia a la flexión estática y a la tracción, así como las de estabilidad dimensional obtenidos fueron comparados con las exigencias mínimas señaladas por la norma DIN CS 236-66 (1996) y CSA Standar 0188-75 (1975).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COEFICIENTE DE ESBELTEZ

Los valores promedio de coeficiente de esbeltez de las especies “cedro virgen” e “higuerilla” fueron de 53,33 y de 20,15 respectivamente. Asimismo, se encontró que los valores promedio de la especie “cedro virgen” variaron desde 24,06 hasta 109,11, mientras que para la “higuerilla” fueron desde 14,07 hasta 39,76. Los coeficientes de esbeltez obtenidos se ubicaron dentro del rango recomendado por Ginzel y Peraza (1966).

4.2 DENSIDAD BÁSICA DE MUESTRAS DE CHAPAS DECORATIVAS

La densidad básica promedio de las chapas decorativas de “cedro virgen” e “higuerilla” fue de 0,41 g/cm³ y 0,54 g/cm³ respectivamente. Dichos valores fueron similares a los señalados por Larco (2000), para el caso del “cedro virgen”, y por Toledo y Rincón (1996) para la “higuerilla”.

4.3 DETERMINACIÓN DEL PH

El valor de pH promedio de las partículas secas de las especies “cedro virgen” e “higuerilla” fue de 5,63 y 5,41 respectivamente y, al ser ligeramente ácidas, requieren de la adición de un catalizador para reducir el pH a un rango de 3 a 3,5 con el fin de facilitar el fraguado del adhesivo, tal como lo indican Poblete (2001) y el Fondo de Fomento Productivo (1991).

4.4 SUPERFICIE ESPECÍFICA

En el Cuadro 4 se muestran los valores de superficie específica de las partículas utilizadas para los diferentes tratamientos, los cuales variaron desde 0,57 m² por 100 g de partículas secas utilizadas para el tratamiento B hasta 0,65 m² por 100 g de partículas secas utilizadas para el tratamiento A. De estos resultados se pueden observar que la superficie específica de las partículas utilizadas en el tratamiento A (100% “cedro virgen”) fue 13,3% mayor que el usado para el tratamiento E (100% “higuerilla”), debido básicamente a la mayor densidad de la “higuerilla”, lo cual ocasiona a su vez una menor cantidad de partículas por unidad de peso.

4.5 RESINOSIDAD ESPECÍFICA

En el Cuadro 4, se indican los valores de resinosidad específica de las partículas utilizadas para los diferentes tratamientos, los cuales fluctuaron desde 15,38 g de resina por m² de partículas secas utilizadas para el tratamiento A hasta 17,55 g de resina por m² de partículas secas para el tratamiento B. De los resultados encontrados se observó que la cantidad de resina utilizada por m² en el tratamiento E (100% “higuerilla”) fue 13,3% mayor que el usado para el tratamiento A (100% “cedro virgen”), debido probablemente a la menor superficie específica que presentan las partículas de la especie “higuerilla”, lo cual ocasiona a su vez una menor cantidad de partículas por unidad de peso

Cuadro 4 Valores de Superficie y Resinosidad Específicas, para cada tratamiento

TRATAMIENTO	Superficie Específica (m ² / 100 g partículas secas)	Resinosidad Específica (g resina / m ² de superficie)
A	0,65	15,38
B	0,61	16,47
C	0,63	15,92
D	0,59	17,00
E	0,57	17,55

4.6 ENSAYO FÍSICO

4.6.1 DENSIDAD DE LOS TABLEROS

El Cuadro 5 presenta los valores promedio de la densidad de los tableros elaborados con diferentes tratamientos; los cuales oscilaron desde 0,60 g/cm³ para tableros elaborados con el tratamiento D, hasta 0,62 g/cm³ para tableros producidos con los tratamientos C y E. Además, todos los tableros presentaron valores similares o ligeramente superiores a la densidad teórica planteada, que era de 0,60 g/cm³.

Asimismo, los resultados del análisis de variancia de la densidad promedio de los tableros elaborados con diferentes tratamientos, indican que no existen diferencias significativas de densidad para un nivel de significancia de 5%.

Cuadro 5 Valores promedio de densidad de los tableros elaborados con diferentes tratamientos.

Tratam.	Densidad del tablero (g/cm ³)			Promedio
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
A	0,60	0,61	0,62	0,61
B	0,60	0,61	0,63	0,61
C	0,60	0,62	0,65	0,62
D	0,61	0,60	0,59	0,60
E	0,64	0,61	0 61	0,62

Los resultados encontrados concuerdan con lo indicado por Poblete (2001), quien señala que la razón de compresión, que relaciona la densidad del tablero vs la densidad de la madera, debe ser mayor que 1, en este caso se obtuvieron una razón de compresión para el “cedro virgen” de 1.49 y para la “higuerilla” de 1.13.

4.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS TABLEROS

El Cuadro 6 muestra los valores promedio del contenido de humedad de los tableros elaborados con diferentes tratamientos; estos valores fluctuaron desde 9,4 % para tableros elaborados con el tratamiento D, hasta 11% para tableros producidos con el tratamiento A. Estos resultados fueron menores al teórico planteado, que fue de 12%, debido probablemente a la pérdida de cola durante su pulverización en las partículas para su posterior conformación.

Cuadro 6 Valores promedio del contenido de humedad de los tableros elaborados con diferentes tratamientos.

Tratam.	Contenido de humedad (%)			Promedio
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
A	10,6	11,1	11,3	11,0
B	10,5	9,5	9,7	9,9
C	10,3	10,2	10,3	10,3
D	9,4	9,6	9,3	9,4
E	11,3	8,6	9,9	9,9

4.6.3 ABSORCIÓN DE AGUA

Los valores promedio de absorción de agua a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados con diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 7. Además, en los resultados obtenidos del análisis de variancia de los valores promedio de absorción de agua a las 2 y 24 horas de los tableros fabricados, se encontró que no hay diferencias significativas en la absorción de agua a las 2 horas, sin embargo si se encontraron diferencias significativas a las 24 horas para un nivel de significancia de 5%.

Cuadro 7 Valores promedio de Absorción de agua (%) a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados con diferentes tratamientos.

Tratam.	Absorción de agua en %, a las 2 y 24 horas						Promedio	
	Tablero 1		Tablero 2		Tablero 3			
	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*
A	38,1	56,24	46,18	57,6	45,17	57,17	43,15	57,00
B	49,51	59,76	46,25	61,01	39,34	51,89	45,03	57,55
C	47,54	62,39	55,56	65,77	42,42	60,74	48,51	62,97
D	39,52	55,71	41,24	58,37	44,64	60,08	41,80	58,05
E	41,61	63,03	46,04	63,69	46,47	62,78	44,71	63,17

- *H = Horas*

Estas diferencias pueden deberse probablemente a la higroscopicidad de la madera, densidad básica y a sus niveles de compactación a la que fue sometida durante el prensado.

Asimismo, las normas DIN no especifican valores máximos para este ensayo, pero Kumar, citado por Maldonado (1992), menciona valores promedio de 45% a 95%, lo cual, al compararlos con los resultados obtenidos en el presente estudio, cumplen en la prueba a las 2 horas los tableros producidos con los tratamientos B y E, además de los tableros producidos con todos los tratamientos en la prueba a las 24 horas.

Por otro lado, en los resultados obtenidos en la prueba de Tukey realizada para comparar los valores absorción de agua a las 2 y 24 horas entre los distintos tratamientos, se apreció que la totalidad de tableros producidos fueron similares entre sí.

4.6.4 HINCHAMIENTO

Los valores promedio del ensayo de Hinchamiento a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados con diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 8. Además, de los resultados del análisis de variancia de los valores promedio de hinchamiento a las 2 y 24 horas de los tableros elaborados, se encontraron diferencias significativas de hinchamiento a las 2 horas y 24 horas, para un nivel de significancia de 5%.

Cuadro 8 Cuadro 8. Valores promedio del ensayo de Hinchamiento (%) a las 2 y 24 horas de los tableros fabricados con diferentes tratamientos.

Tratam.	Hinchamiento en % a las 2 y 24 horas						Promedio	
	Tablero 1		Tablero 2		Tablero 3			
	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*	2 H*	24 H*
A	7,92	12,1	9,56	12,9	8,90	11,30	8,79	12,10
B	8,22	11,40	7,85	11,40	7,29	11,58	7,79	11,46
C	11,23	15,68	12,66	15,39	12,16	15,32	12,02	15,46
D	8,05	12,05	8,92	12,87	9,34	13,64	8,77	12,85
E	11,70	17,69	12,80	17,47	11,18	16,61	11,89	17,26

* H = Horas

Asimismo, las normas DIN plantea valores mínimos y máximos de hinchamiento a las 2 y 24 horas, siendo los valores recomendados de 6% y 15% respectivamente. En este caso, los valores de hinchamiento obtenidos a las 2 horas en todos los tableros elaborados son mayores al mínimo establecido. Igualmente, los tableros elaborados con los tratamientos B y D presentaron valores de hinchamiento a las 24 horas mayores al mínimo recomendado, debido probablemente al procedimiento manual de fabricación de los tableros.

En los resultados derivados de la prueba de Tukey, al comparar los valores de hinchamiento a las 2 horas se obtuvo que los tableros con niveles de mezclas A vs E; A vs C, E vs C, E vs B y E vs D fueron similares entre sí. Asimismo, en la prueba de hinchamiento a las 24 horas se obtuvo que los tableros con los niveles de mezcla A vs E, A vs C, E vs C fueron similares entre sí.

4.7 ENSAYO MECÁNICO

4.7.1 TRACCIÓN PERPENDICULAR

Los valores promedio de resistencia a la tracción perpendicular al grano de los tableros producidos con diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 9, en él se aprecian que la resistencia a la tracción perpendicular de los tableros variaron desde 7,78 Kg/cm² para los producidos con el tratamiento A, hasta 10,20 Kg/cm² para los elaborados con el tratamiento E.

Cuadro 9 Valores promedio de resistencia a la tracción perpendicular al grano de los tableros elaborados con diferentes tratamientos

Tratamiento	Resistencia a la Tracción Perpendicular (Kg/cm ²)			Promedio
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
A	7,06	7,73	8,55	7,78
B	10,43	10,33	9,84	10,20
C	9,64	9,41	8,76	9,27
D	9,14	8,80	8,96	8,97
E	10,23	9,04	9,11	9,46

La norma DIN exigen un valor mínimo de $3,5 \text{ Kg/cm}^2$ para tableros de densidad media y, al compararlos con los resultados obtenidos, se puede señalar que todos los tableros cumplen con dichas condiciones, debido probablemente a una buena adherencia entre la resina y las partículas.

En los resultados del análisis de variancia de la resistencia a la tracción perpendicular de los tableros elaborados con diferentes tratamientos se encontraron diferencias significativas de resistencia a la tracción perpendicular a un nivel de significancia de 5%.

Además, de los resultados obtenidos en la prueba de Tukey efectuada para comparar los valores de resistencia a la tracción perpendicular entre los distintos tratamientos, se tuvo que la resistencia a la tracción perpendicular de los tableros producidos con todos los tratamientos fueron similares entre ellos, exceptuando a los valores de resistencia de los tableros obtenidos con los tratamientos A vs E, A vs B y C vs E.

4.7.2 MÓDULO DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA

Los valores promedio del módulo de rotura en flexión estática de los tableros elaborados con diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 10. El módulo de rotura en flexión estática de los tableros variaron desde $99,63 \text{ Kg/cm}^2$ para los producidos con el tratamiento B, hasta $143,62 \text{ Kg/cm}^2$ para los elaborados con el tratamiento A.

Además, para este ensayo, la norma DIN exige un valor mínimo de 180 Kg/cm^2 para tableros de densidad media, y al compararlos con los resultados obtenidos se puede indicar que ningún tablero cumple con dichas condiciones, debido posiblemente a los valores de coeficientes de esbeltez de las partículas utilizadas, que estaban cercanos a los mínimos recomendados para este producto. En este contexto, Poblete (2001) menciona que la influencia del aumento del coeficiente de esbeltez es positiva en el caso de flexión estática, observándose que con altos valores de esta relación se obtienen mejores valores de flexión.

Cuadro 10 Valores promedio del módulo de rotura en flexión estática de los tableros elaborados con diferentes tratamientos.

Tratam.	Flexión Estática MOR (Kg/cm ²)			Promedio
	Tablero 1	Tablero 2	Tablero 3	
A	142,99	143,23	144,65	143,62
B	92,94	104,83	101,13	99,63
C	134,35	136,61	144,90	138,62
D	139,08	143,63	138,74	140,48
E	120,22	127,19	129,63	125,68

En los resultados obtenidos en el análisis de variancia del módulo de rotura en flexión estática de los tableros elaborados con diferentes tratamientos, se encontraron diferencias significativas en el módulo de resistencia a la flexión estática para un nivel de significancia de 5%.

Se observó además que los valores promedio del módulo de rotura en flexión estática de los tableros elaborados con los tratamientos A, C y D son mayores a los elaborados con el tratamiento E, y concuerda con lo mencionado por Moslemi (1974), quien señala que para una misma densidad de tablero, un incremento en la densidad de la madera ocasiona una disminución en sus propiedades mecánicas. Esto ocurre debido a que a menor densidad de las partículas se requerirá de mayor volumen para una densidad determinada de tablero, lo cual producirá un mayor contacto entre partículas, lo que a su vez ocasionará una mejor adhesión interna entre ellas.

Asimismo, se tiene que el coeficiente de esbeltez de las partículas de “cedro virgen” es aproximadamente el doble del de la “higuerilla”, lo cual se corrobora en los resultados, ya que diversos investigadores señalan que con mayores coeficientes de esbeltez se logran valores más altos de módulo de rotura en flexión estática.

Finalmente, de los resultados obtenidos en la prueba de Tukey realizada para comparar los valores promedio del módulo de rotura en flexión estática entre los distintos tratamientos, se tuvo que el módulo de rotura de los tableros elaborados con todos los tratamientos no fueron similares entre sí, exceptuando los elaborados con los tratamientos A vs B, A vs C y B vs C, que si fueron similares entre sí.

5. *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

- La densidad de la madera de las especies estudiadas influyó notoriamente en la calidad de los tableros de partículas homogéneos.
- Los tableros producidos con mayor porcentaje de residuos de partículas de “higuerilla”, presentan mayores valores de resistencia a la tracción perpendicular al grano, que con los elaborados con “cedro virgen”.
- Los tableros elaborados con mayor porcentaje de partículas de “cedro virgen”, presentan mayores valores en la prueba de modulo de ruptura a la flexión estática, ocurriendo lo contrario con la “higuerilla”.
- Se recomienda proseguir con investigaciones similares, elaborando tableros de tres capas y con otras especies forestales utilizadas en la industria de triplay decorativo, a fin de darle un uso alternativo a la gran cantidad de residuos generados durante su manufactura.

BIBLIOGRAFÍA

Bocanegra D, L. 1994. Fabricación de tableros de partículas con mezclas de especies de bosques secundarios. Tesis de Post-grado, especialidad de Industria Forestales. Lima, PE, UNALM. 53 p.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA.2003. Manual de la Construcción de viviendas con madera. Santiago de Chile, CL. 55 p.

Cruz, A. 1976. Properties of experimental particle board from three Costa Rica hard woods. Paper based on thesis Master of Science Degree. College of Environmental Sciences and Forestry. Siracuse, N.Y, US. State University of New York. 22 p.

FONDO DE FOMENTO PRODUCTIVO. 1991. Tableros a base de desechos de contrachapados. Corporación de Fomento de la Producción de Chile. CL.110 p.

Ginzel, Peraza. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Madrid, ES. 187 p.

INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLÓGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 251.011. 1971. Maderas, Métodos de determinación de densidad. PE. 3 p.

Jonhns, W; Niazi, K. 1980. Effect of pH and buffering capacity of wood on relation time of urea formaldehyde resin. Wood and fiber 12(4): 255-263.

- Kelly, M. 1977. Critical literature review of relation ships between processing parameters and physical properties of particleboard. General Technical Report FPL 10. US. 64 p.
- Kollmann, F. 1984. Principles of wood science and technology. Vol 1. Berlín, DE. 592 p.
- Larco, I. 2000. Estudio dendrológico, anatómico y físico-mecánico de “cedro virgen” (*Cedrela montana*) de la provincia de Satipo. Tesis de Ingeniero Forestal.. Lima, PE. UNALM. 61 p.
- Maldonado T, C. 1992. Producción de tableros de partículas utilizando cuatro especies tropicales. Tesis de Post-grado, especialidad de Industria Forestales, UNALM. Lima, PE.. 80 p.
- Maloney, M. T. 1977. Modern particleboard and process fiberboard manufacturing. Milles Freeman Publication Inc. San Francisco, US. 672 p.
- Matos D, D. 2003. Propiedades Físico Mecánicas de la especie tornillo de plantaciones de edades 15, 24, 27 y 29 años de Tesis de Ingeniero Forestal. Lima, PE. UNALM. 61 p.
- Moslemi, A. A. 1974. Particleboard Vol. I. US. Southern Illinois University Press. 245 p.
- Monteza, R, O. 1996. Aptitud de la madera del genero *Pinus* sp procedente del raleo de plantaciones de Cajamarca, en la elaboración de tableros de partículas. Tesis para optar el título de Ingeniero Forestal. Lima, PE. UNALM. 86 p.
- Poblete. H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. Bosque 3(1): 39-46.

Poblete, H. 2001. Tableros de Partículas. Facultad de Ciencias forestales. CL. Universidad Austral de Chile. 177 p.

Toledo, E; Rincón, C. 1996. Utilización Industrial de Nuevas Especies Forestales en el Perú. CNF. INRENA-OIMT. Proyecto OIMT 07/88 (I). Lima, PE. 282 p.

Vital, R. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard. Forest Products Journal. Vol. 24(12):37-45

ANEXO 1

ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LA DENSIDAD PROMEDIO DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	F 0,05
Entre tratamientos	4	0.001000	0.000250	0.91	3.48
Dentro de tratamientos	10	0.002733	0.000273		
Total	14	0.03733			

ANEXO 2

**ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE
ABSORCIÓN DE AGUA A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS
ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.**

Fuente de Variación	Grados de Libertad		Suma de Cuadrados		Cuadrados Medios		F Calculado		F 0.05
	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	
Entre tratamientos	4	4	76.2	111.81	19.0	27.95	0.91	3.82	3.48
Dentro de tratamientos	10	10	208.5	73.15	20.8	7.31			
Total	14	14	284.7	184.95					

ANEXO 3

PRUEBA COMPARATIVA DE TUKEY PARA LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.

Mezcla de especies (%)	ABSORCIÓN		HINCHAMIENTO	
	2 Horas	24 Horas	2 Horas	24 Horas
A vs E	NS	NS	NS	NS
A vs B	NS	NS	S	S
A vs C	S	S	S	S
A vs D	NS	NS	S	S
E vs B	NS	NS	S	S
E vs C	S	S	S	NS
E vs D	NS	NS	S	S
B vs C	S	S	S	S
B vs D	NS	NS	NS	NS
C vs D	S	S	S	S

S = Significativo

NS = No Significativo

ANEXO 4

**ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE
ABSORCIÓN DE AGUA A LAS 2 Y 24 HORAS (%) DE LOS TABLEROS
ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.**

Fuente de Variación	Grados de Libertad		Suma de Cuadrados		Cuadrados Medios		F Calculado		F 0.05
	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	2 H.	24 H.	
Entre tratamientos	4	4	46.230	71.920	11.557	17.980	22.72	54.64	3.48
Dentro de tratamientos	10	10	5.088	3.290	0.509	0.329			
Total	14	14	51.317	75.211					

ANEXO 5

ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR DE LOS TABLEROS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	F 0,05
Entre tratamientos	4	9.367	2.342	8.74	3.48
Dentro de tratamientos	10	2.679	0.268		
Total	14	12.047			

ANEXO 6

**ANÁLISIS DE VARIANCIA (ANVA) DE LOS VALORES PROMEDIO DEL
MÓDULO DE ROTURA EN FLEXIÓN ESTÁTICA DE LOS TABLEROS
ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE MEZCLA DE ESPECIES.**

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	F 0,05
Entre tratamientos	4	3929.5	982.4	49.13	3.48
Dentro de tratamientos	10	200.0	20.0		
Total	14	4129.5			