

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“Elaboración de Tableros de Partículas de Densidad Media con Residuos de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) Proveniente de la Plantación de Jenaro Herrera.”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO FORESTAL**

**Daniel Franco Matos Delgado**

**28219**

**LIMA – PERU**

**2,006**

## RESUMEN

Los tableros de partículas son una alternativa de uso de los residuos producidos en la industria de extracción y transformación mecánica de la madera. En los países industrializados se han efectuado investigaciones y desarrollado técnicas para el aprovechamiento de desechos industriales en comparación con los países menos industrializados como el Perú que pese a tener una fuente importante de recursos como son los bosques tropicales, son mínimos los trabajos dirigidos para su mejor aprovechamiento.

La presente investigación constituye una evaluación para el uso de los residuos de madera sólida y derivados de operaciones de Trabajabilidad del tornillo (*Cedrelinga cateniformis Ducke*), procedente de plantaciones provenientes de Jenaro Herrera de diferentes edades (15, 24, 29 años) para la producción de tableros de partículas de mediana densidad.

Los resultados demuestran que la producción de tableros de partículas de diferentes edades con tornillo no satisface las exigencias mínimas de la norma DIN y CSA Standard 0188-1975, por lo que se requiere encontrar la relación de esbeltez apropiada para la utilización de residuos de la naturaleza estudiada.

## INDICE

	<b>Página</b>
I. Introducción	1
II. Revisión de literatura	2
2.1 Sobre la materia prima	2
2.2 Sobre la Partícula	3
2.3 Sobre los adhesivos	9
2.4 Variables de prensado	11
2.5 Propiedades Físico-Mecánicas	12
2.6 Otras propiedades	18
2.7 Sobre las edades	19
2.8 Sobre la especie	20
III. Materiales y métodos	24
3.1 Lugar de ejecución	24
3.2 Materiales y equipos	24
3.2.1 Especie	24
3.3 Equipos	24
3.4 Métodos	25
3.4.1 Determinaciones previas	25
3.4.2 Preparación de partículas	25
3.4.3 Secado de partículas	30
3.4.4 Preparación de tableros	30
3.5 Evaluación de tableros	31
IV. Resultados y Discusión	36

4.1 Determinaciones previas	36
4.1.1 Refinado de residuos de virutas proveniente del cepillado y garlopa	36
4.1.2 Análisis del coeficiente de esbeltez	36
4.1.3 pH	39
4.2 Tablero de partículas	39
4.2.1 Propiedades físicas	39
4.2.1.1 Densidad del tablero	39
4.2.1.2 Absorción de agua	42
4.2.1.3 Hinchamiento	47
4.2.2 Propiedades mecánicas	51
4.2.2.1 Módulo de ruptura (MOR)	51
4.2.2.2 Tensión perpendicular	55
4.3 Evaluación de los tableros	58
V. Conclusiones	60
VI. Recomendaciones	61
VII. Bibliografía	63
VIII. Anexos	66

## LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1	Influencia del espesor de las partículas y del coeficiente de esbeltez en la resistencia del tablero	5
2	Propiedades de tableros con partículas y aserrín de <i>Pinus radiata</i> con diferente coeficientes de esbeltez	5
3	Valores promedios de la densidad básica de las tres edades provenientes de plantación y la de bosque natural	22
4	Plantaciones seleccionadas para el estudio	23
5	Número de mallas y sus dimensiones para la preparación de los tableros	25
6	Relación partícula-polvillo	37
7	Datos experimentales del coeficiente de esbeltez para tableros fabricados con Tornillo de plantación y de bosque natural	38
8	Intervalos de esbeltez y de longitud de partículas de plantación y de bosque natural	40
9	Valores promedios de densidad de los tableros por edades provenientes de plantación y de bosque natural con una resinosidad de 8%	41
10	Prueba comparativa de Tuckey para tres edades de tornillo de plantación y de bosque natural en las diferentes evaluaciones de los tableros.	44

11	Valores promedios y coeficiente de variación de absorción para los tableros elaborados proveniente tanto de plantación como de bosque natural.	45
12	Valores promedios y los coeficientes de variación de hinchamiento en 2 y 24 horas para tableros hechos con residuos de plantación como también de bosque natural.	48
13	Valores promedios y coeficiente de variación del modulo de ruptura (MOR) en Flexión Estática para Tornillo de plantación y de Bosque Natural con una resinosidad de 8%.	52
14	Valores promedios y coeficiente de variación en Tensión Perpendicular para Tornillo de plantación y de Bosque Natural con una resinosidad de 8%.	56

## LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAGINA
1	Efectos de la geometría de la partícula sobre las propiedades del tablero de partículas. Maldonado (1992)	7
2	Efecto sobre el contenido de resina sobre las propiedades de resistencia y estabilidad en rangos de densidad de tablero. (Moslemi, 1974a)	10
3	Relación de la densidad del tablero y especie con el hinchamiento. (Moslemi, 1974a)	14
4	Efecto de la densidad de la madera sobre las propiedades del tablero con virutas y flakes.(Cruz, 1976)	17
5	Molino de aspas para la obtención de las partículas para la elaboración de tableros.	26
6	Prensa de platos calientes marca "ORMA MACCHINE".	27
7	Ensayos de flexión estática en la Prensa universal "TINIUS OLSEN".	28
8	Mallas metálicas para la obtención de partículas para la elaboración de tableros.	29
9	Distribución de las probetas de ensayos en el tablero.	32
10	Preparación de las probetas para los ensayos de Tensión perpendicular.	33
11	Probetas de tableros de partículas para los ensayos de estabilidad dimensional.	34

12	Valores promedios de la densidad de los tableros versus las edades de tornillo de plantación y de bosque natural.	43
13	Valores promedios de la absorción de 2 horas y 24 horas para las edades de tornillo de plantación y de bosque natural.	46
14	Valores promedios del hinchamiento en 2 horas y 24 horas para las edades de tornillo de plantación y de bosque natural.	49
15	Valores promedios del módulo de ruptura en flexión estática versus las edades de tornillo de plantación y de bosque natural.	53
16	Valores promedios de la tensión perpendicular versus las edades de tornillo de plantación y de bosque natural.	57

## I. INTRODUCCIÓN

Los tableros de partículas son una alternativa de uso para los residuos producidos en la industria de extracción y transformación mecánica de la madera. En los países industrializados se han efectuado investigaciones y desarrollado técnicas para el aprovechamiento de desechos industriales en comparación con los países menos industrializados como el Perú que pese a tener una fuente importante de recursos como son los bosques tropicales, son mínimos los trabajos dirigidos para su mejor aprovechamiento.

Actualmente, además de los residuos provenientes de procesos industriales que tienen un componente heterogéneo, existen plantaciones forestales que priorizan determinadas especies de uso comercial interesadas en el uso integral de estas especies. Para ello están promoviendo investigaciones que determinen la mejor aptitud de uso, considerando su edad de desarrollo para precisar la mejor época de corta y así obtener ventajas técnicas y económicas en la elaboración de un determinado producto.

La presente investigación constituye una evaluación para el uso de los residuos de madera sólida y derivados de las operaciones de cepillado y garlopeado de tornillo (*Cedrelinga cateniformis Ducke*), de plantaciones provenientes de Jenaro Herrera de diferentes edades (15, 24, 29 años) para la producción de tableros de partículas de mediana densidad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Sobre la Materia Prima

El aporte de las empresas de transformación primaria para la industria de tableros de partículas puede dividirse en residuos de aserraderos y de otras industrias. En cuanto a la incorporación de residuos de aserraderos en tableros de partículas, aparecen como más adecuados las cantoneras y el material proveniente de los despuntes, mientras que los residuos de las industrias incluyen a la de chapas y contrachapados que son considerados como materia prima de excelente calidad, porque presentan una forma que se aproxima a la viruta de ingeniería (flakes).

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 constituye la fabricación de tableros de partículas que usa tradicionalmente como materia prima virutas de madera, las cuales se caracterizan por tener una determinada relación entre longitud y espesor llamada coeficiente de esbeltez, cuyos valores deben oscilar entre 60 y 120 (Kollmann, 1975). El fondo de fomento productivo Chile (1991) señala que hay que tener cuidado que el porcentaje no supere el 5% cuando se incluyen residuos de aserraderos para que no afecten negativamente las propiedades de los tableros.

Así mismo, Poblete (1979) ha comprobado que el reemplazo de la viruta de capa media por el aserrín es factible. Dicho autor determinó que la resistencia a la tracción perpendicular aumenta al incrementarse el contenido de aserrín pero la reacción es inversa en el caso de la flexión. Los porcentajes de incorporación varían según la densidad del tablero y la resistencia del tablero que se quiera obtener.

Por otra parte Guillwald, citado por el Fondo de Fomento Productivo Chile (1991) estudió las proporciones de tamaños que se presentan en las partículas producidas con los residuos del laminado. Este estudio, al comparar diferentes tipos de residuos, estableció que los tableros producidos con residuos de la industria del laminado tienen mejor comportamiento al hinchamiento y resistencia a la flexión que otros tipos de material.

## **2.2 Sobre la geometría de las partículas**

Poblete (1979) señala que 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. Cuando la esbeltez es más baja que la prescrita por Kollmann (1975), se notan tendencias dispares en las propiedades físico-mecánicas.

A esta partícula óptima, denominada “flakes” (viruta de ingeniería), Mottet (1954) la define como una pequeña partícula de madera de dimensiones

predeterminadas, específicamente producida como una función primaria de equipos especializados de varios tipos, con la acción de corte a través del grano (también radial, tangencial u oblicuo). Esta es tal que produce una partícula de espesor uniforme, esencialmente plana y en dirección de las fibras.

Heebink, Hann y Haskell (1964) mencionan que al trabajar con virutas planas (poco onduladas y con un mínimo de fracturas a través del grano) la fabricación de tablero de partículas, ven mejoradas sus propiedades. Las partículas recomendadas por los autores alcanzan un coeficiente de esbeltez de 67, el cual se obtiene luego de pasar las virutas por un molino de martillo. (La relación es 1 pulgada de largo con 0,015 pulgadas de espesor)

Peraza (1966) señala se ha encontrado experimentalmente como medidas óptimas para las partículas las siguientes: capas externas con espesores entre 0,10 a 0,30 mm, longitud entre 10,0 a 20,0 mm y ancho entre 3,0 a 6,0 mm; capas internas con espesores entre 0,30 a 0,50 mm, longitud entre 10,0 a 20,0 mm y ancho entre 3,0 a 6,0 mm. Así mismo señala que debe mantenerse la relación de longitud y espesor alrededor de 100. A modo de ilustración demuestra la influencia de espesor de las partículas o del coeficiente de esbeltez en la resistencia de tablero para tableros hechos con partículas de pino con 8% de resinosidad de urea formaldehído y una densidad de tablero de  $0,55 \text{ g/cm}^3$ :

**Cuadro N° 1: Influencia del espesor de las partículas y del coeficiente de esbeltez en la resistencia del tablero**

<b>Espesor (mm)</b>	<b>Coefficiente de esbeltez</b>	<b>Superficie específica m<sup>2</sup>/100gr</b>	<b>Gramos de cola por m<sup>2</sup> de astillas</b>	<b>Resistencia a la Flexión</b>
1,0	35	0,47	17,2	120
0,5	70	0,94	8,6	160
0,3	117	1,57	5,2	220
0,1	350	4,7	1,7	270

Fuente: Peraza (1966)

Poblete (1995) en su estudio de las propiedades de tableros con partículas y aserrín de *Pinus radiata* encontró coeficientes de esbeltez de 6,3 a 29,7, según se detalla a continuación en el cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2: Propiedades de tableros con partículas y aserrín de *Pinus radiata* con diferentes coeficientes de esbeltez**

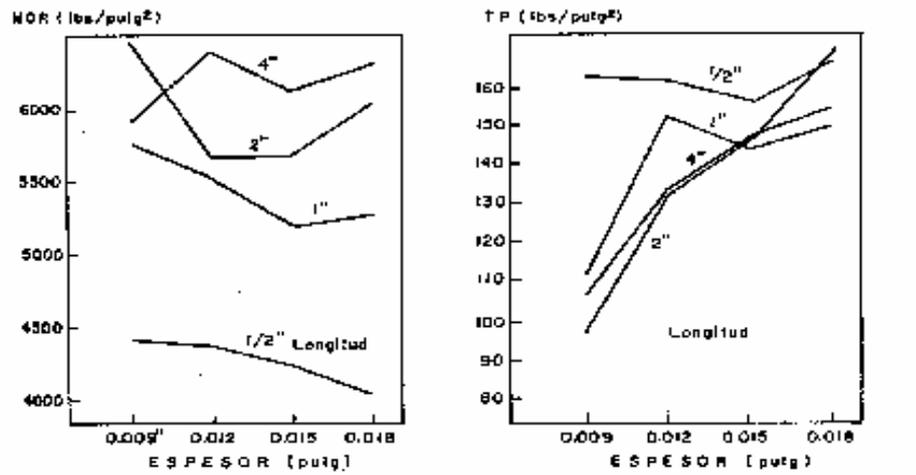
<b>TIPO DE FRACCIÓN</b>	<b>COEFICIENTE DE ESBELTEZ</b>
Aserrín sin clasificación	6,3
Aserrín con clasificación fracción fina	5,3
Aserrín con clasificación fracción gruesa	7,17
Partículas tradicionales fracción fina	18,33
Partículas tradicionales fracción gruesa	29,74

Fuente: Poblete (1995)

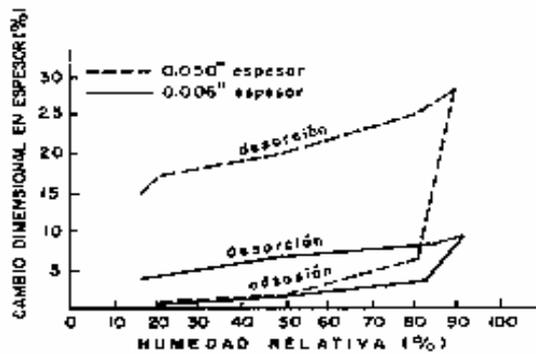
El mismo autor agrega que el largo promedio de la fracción gruesa de las partículas tradicionales fue de 11,6 mm y su espesor promedio de 0,39 mm. En la fracción fina de las partículas tradicionales, al igual que el aserrín, se produjo una mayor concentración en la malla de 0,5 a 2 mm. Las partículas fueron mas largas que de las de aserrín 5,5 mm, y el espesor fue menor 0,30 mm. El estudio demostró que la diferencia en la geometría del aserrín y de

las partículas afecta directamente a las propiedades mecánicas de los tableros. En términos generales con aumentos del coeficiente de esbeltez se provocan aumentos de la flexión y disminuciones de la tracción.

En la Figura N° 1 se muestra los efectos de la geometría de la partícula sobre las propiedades de resistencia mecánica (Brumbaugh, 1960) y estabilidad dimensional (Jorgensen y Odell, 1961), trabajos citados por Maldonado (1992). Al respecto señala la importancia de longitud y espesor de partícula que según Moslemi (1974a) esta debe variar entre 120 a 200. Sin embargo, Heebink et al (1964), afirma que una relación de esbeltez de  $1/0,015$  es la óptima.



MOR y TP en tableros de 4 longitudes y 4 espesores de densidad promedio 0.75 y 4% de resinosidad (Brumbough, 1960)



Efecto del espesor de la partícula sobre el hinchamiento (Jørgensen y Ddeil, 1951)

Figura N° 1: Efectos de la geometría de la partícula sobre las propiedades del tablero de partículas. Maldonado (1992)

La forma y tamaño de la partícula también influye en la superficie encolable, lo cual significa una mayor superficie de encolado al disminuir el tamaño de las partículas, obteniéndose para una misma cantidad de adhesivo un encolado defectuoso o insuficiente. Otro factor negativo es la superficie rugosa del material, la que disminuye el área de contacto entre las partículas (Ginzel y Peraza 1966)

Urzua y Poblete (1980) mencionan que para cada especie existe un tamaño óptimo de partícula. Sin embargo, un cierto tamaño puede serlo con respecto a un tipo específico de resistencia y no ser el más adecuado para otro tipo de solicitaciones.

Ginzel y Peraza (1966), Kollmann et al (1975) y Urzua y Poblete (1980), (citados por El Fondo de Fomento productivo 1991), recomiendan como norma general que el coeficiente de esbeltez fluctúe entre 60 y 120. Brumbaugh (1960) en cambio, estimó que el coeficiente óptimo para el caso del pino oregon, varía entre 150 y 250. Sobre el mismo punto, Moslemi (1974) indica que la relación entre largo y espesor de 150 hasta 200 sería la más apropiada para los tableros. Estas diferencias de opinión en cuanto a la forma óptima de las partículas se deben a que las condiciones cambian con la especie y con las variables de fabricación.

Aún cuando existen posiciones disímiles en cuanto al tamaño óptimo, es un hecho comprobado el que la geometría de la partícula afecta notablemente las propiedades del tablero (Post 1961, Moslemi 1974, Poblete 1985,

Peredo 1987). Varios estudios concluyen que el cambio de las dimensiones del largo y espesor de las partículas afecta principalmente a las propiedades mecánicas y en menor grado a las propiedades físicas de los paneles (Post 1958, Brumbaugh 1960, Urzua y Poblete 1980)

### **2.3 Sobre los Adhesivos**

Kollmann (1984) sostiene que el contenido de resina y su distribución son factores importantes en la fabricación de tableros de partículas, determinando las propiedades de los paneles e incidiendo además en los costos del proceso de producción. 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, o sea, una especie más densa presentará menor área superficial específica y por tanto la mayor disponibilidad de resina por unidad de área de partículas. Contrariamente en maderas menos densas la disponibilidad por unidad de área es menor pero hay un mejor contacto y mayor eficiencia en el uso del adhesivo. Moslemi (1974) Así la Figura N° 2, ilustra el efecto del contenido de resina sobre las propiedades de resistencia y estabilidad para diferentes densidades de tableros. Se nota que a mayor incremento de resina y densidad del tablero hay mayor resistencia en flexión estática (módulo de ruptura) y tensión perpendicular. Así mismo el comportamiento en hinchamiento es mayor a medida que se incrementa la densidad del tablero, pero en todos los casos el incremento en el contenido de resina produce disminuciones en el hinchamiento.

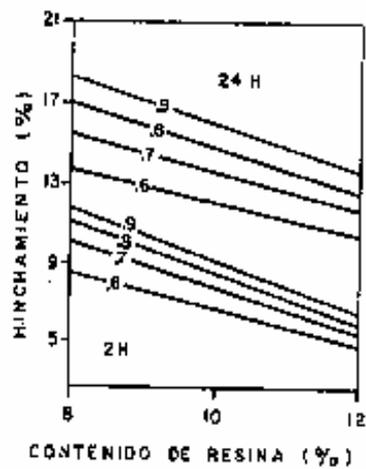
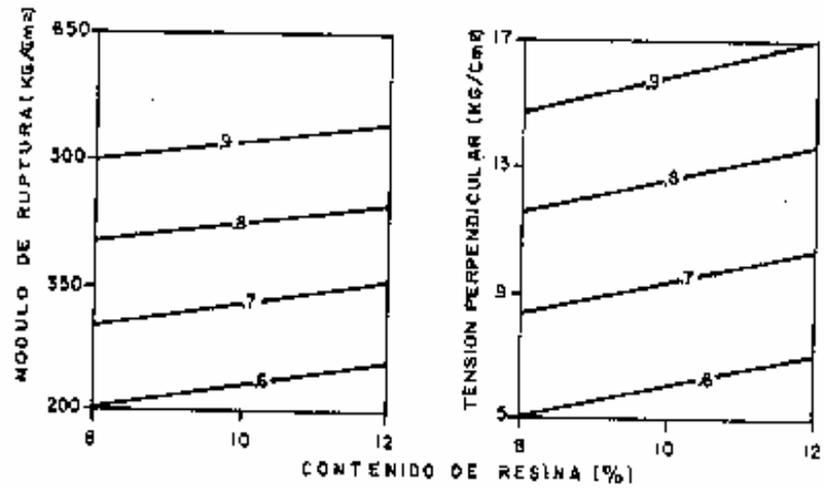


FIGURA N° 2: Efecto del contenido de resina sobre las propiedades de resistencia y estabilidad en rangos de densidad de tableros. Moslemi (1974a)

Lehmann (1965) señala que el factor más importante en la resistencia y estabilidad de los tableros es la distribución de la resina. Una fina atomización de la resina y un adecuado periodo de aplicación son los factores más importantes para controlar la óptima distribución de la resina. Una distribución uniforme de la resina produce tableros de alta calidad. En cuanto a la viscosidad, la cual está directamente relacionada al contenido de sólidos y la temperatura, señala que sólo tuvo ligeros efectos en las propiedades.

#### **2.4 Sobre las variables de prensado**

Kelly (1977) afirma sobre las condiciones de prensado, que en esta operación se consolida el Mat de partículas de madera al espesor deseado y polimeriza el sistema de encolado entre las partículas individuales. La primera elimina mucho de los vacíos del tablero y comprime las estructuras de la madera, la última asegura la retención de una masa sólida cuando se elimina la presión. El mismo autor menciona que la resistencia a la compresividad está relacionada inversamente con el contenido de humedad: la presión requerida para comprimir el panel a un grosor dado será menor al aumentar el contenido de humedad. Sin embargo un contenido elevado de ésta, alarga significativamente el tiempo total de prensado.

Suchsland (1967) menciona que durante la operación de prensado, las partículas sueltas del Mat se transforman en un tablero sólido de espesor predeterminado. Esto requiere: 1) desarrollo de un adecuado contacto entre las partículas por densificación del Mat; y 2) transferencia del calor hacia el

Mat para elevar la temperatura de la línea de cola a un nivel en el cual la resina se fragua rápidamente. La temperatura y tiempo de prensado se ajustan con respecto a las características de fraguado del adhesivo y al contenido de humedad final.

## **2.5 Propiedades Físico-mecánicas del tablero**

Kelly (1977) menciona que la densidad final promedio de un tablero de partículas dependen principalmente de dos factores: la densidad de la materia prima y la compactación del Mat en la prensa de platos calientes. Cualquier cambio en uno de estos factores requiere el ajuste del otro si se quiere mantener constante la densidad del tablero. El mismo autor agrega que también influyen las condiciones de procesamiento previas a la operación de prensado específicamente: especies, preparación y secado, contenido de adhesivos y otros aditivos.

Sobre la influencia de la densidad de los tableros en sus propiedades de resistencia, hinchamiento y absorción, Lamore (1959), Foster (1967), Chittender et al (1972) y Kelly (1977) citados por Acevedo (1983) coinciden en señalar que tableros de una misma densidad elaborados con partículas de madera de menor densidad presentan mejores propiedades de flexión estática (módulo de ruptura), rigidez y tensión perpendicular pero mayores incrementos en absorción de agua e hinchamiento en espesor que los elaborados con madera de mayor densidad.

Kelly (1977) menciona que la gradiente de densidad en espesor del tablero no es uniforme. Su perfil es dependiente de la configuración de la partícula, distribución de la humedad, velocidad de cierre de la prensa, su temperatura, reactividad de la resina y la resistencia a la compresión de las partículas. Este perfil de densidad influencia sobre las propiedades de resistencia. Así, ciertas propiedades como la resistencia a la flexión se incrementan significativamente, mientras que la resistencia a la tensión perpendicular es adversamente afectada por esta distribución de densidad.

Sobre la estabilidad dimensional Moslemi (1974a) precisa que el hinchamiento en espesor en tableros de partículas tiene dos componentes: uno, relacionado con el hinchamiento de la partícula por su carácter higroscópico que es reversible y otro derivado del grado de compactación que presenta las partículas de madera en el tablero; Esta última es de carácter irreversible. Stegman y Durst, citados por Moslemi 1974a mencionan que existe una relación inversa entre la densidad de la madera, para una misma densidad del tablero, y el hinchamiento. Moslemi (1974a) dice que se debe al grado de compactación que presenta la partícula de madera. La Figura N° 3, ilustra este comportamiento.

En relación a la absorción de agua; Vital y Wilson (1980) menciona que está en función de la humedad relativa, tipo de resina y la gravedad específica del tablero. Así mismo los mencionados autores señalan que un incremento en la gravedad específica del tablero generalmente disminuye la

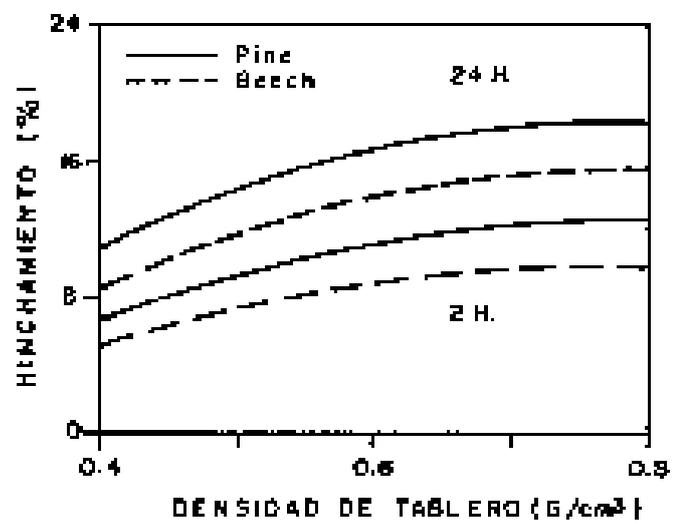


FIGURA N° 3: Relación de la densidad de tablero y especies con el hinchamiento. Moslemi (1974a)

absorción de agua, pero que tales incrementos tiene menos efectos en humedades relativas altas.

Vital, Lehmann y Boone (1974) agregan que el hinchamiento en espesor es inversamente proporcional a la densidad del tablero y directamente proporcional a la absorción de agua.

Con respecto a la influencia del contenido de humedad, Maloney (1977) señala que humedades extremas dificultan el trabajo de elaboración de las partículas, pero mejoran la transferencia de calor. Kollmann (1984), agrega que la humedad puede ser contraproducente al reducir la velocidad de curado de la resina, si se excede de ciertos límites.

De otro lado, de todas las variables presentes en el proceso de elaboración de tableros, la especie es una de las más significativas ya que interactúa con otras variables del proceso e influye en la gravedad específica del tablero, la formulación de la resina y la humedad del tablero (Maloney 1977). En este estudio aunque se trata de la misma especie, la edad puede inducir a diferencias en los factores mencionados.

Vital (1974) y Stegman y Dursh, citado por Moslemi (1974a) coinciden en señalar que conforme se incrementa la densidad de la partícula, para una misma densidad de tablero, el módulo de ruptura (MOR), disminuye. Esto se explica porque una partícula de baja densidad tendrá mayor relación de compactación que propicia una mejor unión adhesiva por una mayor

eficiencia y mejor exposición de la cola. Sin embargo, Cruz (1976) señala que la influencia de la densidad de la partícula en esta propiedad ocurre dentro de un rango óptimo pues encontró que no siempre menores densidades de partícula producen mayores resistencias en el módulo de ruptura. Estos resultados se ilustran en la figura N° 4.

En relación a la tensión perpendicular, Kelly (1977) menciona que un tablero de partículas con adhesivo curado normalmente fallará en el punto medio de su espesor por ser la región de más baja densidad y de menor consolidación por menor contacto íntimo entre partículas y por ser la zona donde la temperatura de fraguado es la última en alcanzarse.

El fondo de fomento productivo (1991) en relación a la tensión perpendicular señala que ella aumenta cuando disminuye el coeficiente de esbeltez, aumenta cuando este coeficiente disminuye; por lo tanto, virutas más corta y gruesas presentan resistencias a la tracción superiores que las partículas largas y delgadas. Poblete (1979) precisa que el mejoramiento de esta propiedad al incluir mayores cantidades de aserrín puede explicarse por la posición que estos gránulos adoptan en el tablero, los que debido a su forma quedarán con su fibra orientada perpendicularmente a la superficie del tablero lo cual favorece la resistencia a la tracción.

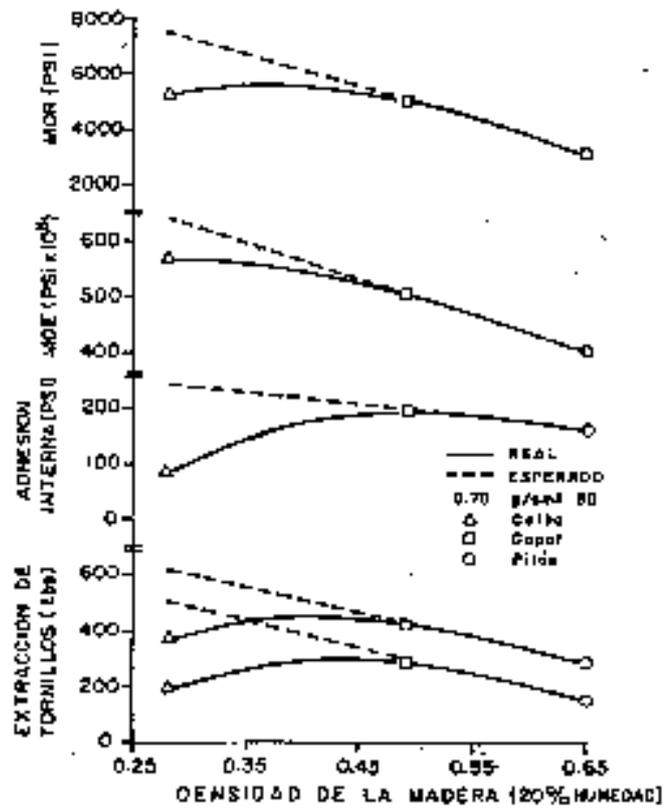


FIGURA N° 4: Efecto de la densidad de la madera sobre las propiedades del tablero con virutas y flakes (50% y 50%). (Cruz, 1976)

## **2.6 pH y contenido de extractivos**

Entre otras características inherentes a las especies debe destacarse la influencia del pH y contenido de extractivos. Maloney (1977) menciona que el pH y la capacidad de buferización evalúan la acidez de la especie. Mientras el pH mide el nivel específico de la acidez, la buferización mide la capacidad de resistencia de la madera a cambiar su nivel de pH. De esta manera, una madera con alta capacidad de buferización requiere gran cantidad de catalizador ácido para reducir el pH al nivel requerido para el óptimo curado de la resina.

El fondo de Fomento Productivo (1991) menciona que la acidez de la madera afecta, aunque ligeramente, el proceso de producción de tableros. Su importancia es mayor cuando se trata de adhesivos que fraguan en ambientes ácidos, como la urea formaldehído. En este caso la tasa de fraguado del adhesivo es determinada por la acidez de la madera.

La acidez de la madera se debe a la mayor o menor cantidad de ácidos que están presentes como compuestos accesorios. Estos compuestos químicos determinan el valor natural de pH que posee la madera. La mayoría de maderas utilizadas para la producción de tableros de partículas son ácidas y tienen valores que varían entre 2 y 5 (Poblete 1983). El valor de pH cambia durante el secado y prensado con la temperatura de las partículas, ya que parte de las hemicelulosas, los grupos acetilos, se transforman por la acción de la temperatura dando origen a ácidos como el acético y fórmico (Poblete y Roffael 1985)

Los problemas de fraguado que la acidez de la madera provoca al adhesivo se solucionan con la adición de catalizadores o retardantes, los que durante el prensado reaccionan con el agua y liberan compuestos que determinan el ambiente de pH en que fraguara el adhesivo (Poblete 1983)

Por otra parte, Moslemi (1974) señala que el contenido de extractivos puede afectar positiva o negativamente a la constitución del tablero. Positivo en el caso de que tengan sustancias que le proporcione cierta resistencia al agua, y negativo si afectan el fraguado de los adhesivos, disminuyendo la resistencia de la unión interparticular, al ser sometidos a un prensado en caliente y/o ocasionando ampollas que reducen seriamente la adhesión interna por volatilización de ciertos extractivos.

## **2.7 Sobre la edad**

En nuestro país no hay estudios que relacionen la influencia de la edad en la elaboración y propiedades de los tableros de partículas. En Venezuela 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.

Acevedo (1983) observó que los efectos de la edad sobre las propiedades de las partículas de la Melina son diversos. A mayor edad aumentan 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 de estabilidad dimensional que satisfacen los requerimientos exigidos por la normas DIN.

## **2.8 Sobre la especie**

En relación a la especie en estudio, tornillo (*Cedrelinga cateniformis Ducke*) de la familia de las Mimosáceas, (Aróstegui 1974) la describe como un árbol de fuste recto, cilíndrico, dominante, que alcanza una altura total de 40 metros y comercial de 25 metros, con un dap de 1 metro. Se ramifica en el tercio superior con ramas gruesas, formando una copa abierta. La corteza es longitudinalmente rugosa, ritidoma coriáceo que se desprende en placas rectangulares pardo oscuras. La corteza interna es rosada, de sabor dulce y textura fibrosa.

Respecto a las características generales de la madera, el mismo autor señala que presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista, brillo medio. El color del duramen recién cortado es rosado claro y la albura es de color blanco amarillento. Cuando está seca la madera del duramen es de color castaño claro pálido, marcado con líneas de color oscuro que destacan sobre el fondo. La madera presenta grano entrecruzado. El olor y sabor no son característicos, pero cuando se trabaja con madera seca en maquinas de carpintería produce un olor picante que afecta a los órganos respiratorios.

La estructura de la madera es gruesa y carece de veteado. En cuanto a sus propiedades físicas señala que es una madera de densidad media, con una densidad básica promedio de 0.44, que presenta contracción volumétrica de 11,8%, que se considera como mediana. Su relación T / R de 1.64, indica que es una madera estable. En cuanto a sus propiedades mecánicas, es una madera que presenta resistencia media, de buena trabajabilidad, el cepillado resulta con ángulos de corte de 20 a 25° es bueno, a 30° regular y en 35° pobre. En moldurado, torneado y lijado se comporta de forma regular, y en taladrado es bueno. Los usos comunes para esta especie incluyen: estructuras, construcciones livianas, carrocería, muebles ordinarios y carpintería de obra en general.

Trabajos realizados por la Universidad Nacional Agraria la Molina (2002) en convenio con el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), determinaron entre otras propiedades la densidad básica de la madera de plantaciones de Tornillo proveniente de Jenaro Herrera, los que se incluyen en el cuadro N° 3. Dicho estudio señala que se han encontrado diferencias significativas entre la densidad de la edad de 24 años con respecto a las demás. Para los fines de este trabajo es importante conocer la densidad básica de la madera, pues tiene una marcada influencia en las propiedades del tablero. Las características de la plantación se muestran en el cuadro N° 4.

**CUADRO N° 3: Valores promedios de la densidad básica de las tres edades provenientes de plantación y de bosque natural**

<b>EDAD</b>	<b>DENSIDAD BASICA</b>
<b>15</b>	0,41
<b>24</b>	0,30
<b>29</b>	0,43
<b>BN</b>	0,44*

Fuente: IIAP (2001), \* Arostegui (1974)

**CUADRO N° 4: PLANTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO**

CARACTERÍSTICA	EDAD		
	15 AÑOS	24 AÑOS	29 AÑOS
CÓDIGO	304 - 86	504 - 77	106 - 72
ESPECIE	Cedrelinga cateniformis (tornillo)	Cedrelinga cateniformis (tornillo)	Cedrelinga cateniformis (tornillo)
FECHA DE PLANTACIÓN	18 de Octubre 1986	15 de Julio de 1977	15 de Febrero de 1972
TIPO DE PLANTACIÓN	A campo abierto	Fajas de enriquecimiento	A campo abierto
ÁREA PLANTADA	20000 m2 en forma irregular	99 x 100m = 9900 m2	21 x 30 = 630 m2
ESPACIAMIENTO	2 x 2 m	20m de distanciamiento entre fajas y 3m entre árboles	3 x 3
N° DE ÁRBOLES PLANTADOS	5000	165	70
TOPOGRAFÍA Y SUELOS	Terraza alta, llanura, suelo de textura franco-arenosa.	Terraza alta, llanura, suelo de textura franco-arenosa.	Terraza alta, llanura, suelo de textura franco arcillosa.
VEGETACIÓN ANTERIOR	Bosque alto cortado y quemado en 1975. Usado como chacra en diversos momentos entre 1975 y 1985. Otra parte albergó los ensayos de selección a campo abierto, un incendio destruyo parcialmente estos ensayos.	Bosque alto explotado selectivamente en 1976-1977. Se aprovecho Tornillo, pashaco, tangarana, cumala y algunas moenas a razón de 5 - 8 árboles por ha,	Bosque alto, cortado y quemado en 1971, para plantar tornillo.
ESTABLECIMIENTO	Semillas de árboles semilleros locales, germinados y repicados en camas de vivero, trasplante a raíz desnuda.	limpieza de las fajas con machetes, sin abrir mas el dosel. Origen de semillas/semillones desconocidos.	Procedencia de las semillas desconocidas; probablemente se plantaron brinzales repicados.
MANTENIMIENTO	En el período 1987 - 90 se efectuaron tres limpiezas Tipo A (Desmalezamiento y corta de árboles en todo el terreno) y dos Tipo B (Desmalezamiento individual por árbol plantado).	Limpieza anuales con machete sin regular la sombra del dosel, durante los cuatro primeros años. A partir de 1985 se efectuaron aperturas del dosel donde sobrevivía el tornillo.	Tratamientos silviculturales desconocidos hasta agosto de 1985. Desde 1986 se realizarón varias limpiezas incluyendo la apertura del borde de la purma de quebrada sobre 10m.

Fuente: IIAP (2001)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Lugar de ejecución**

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de pulpa y papel, paneles, tecnología de la madera, así como el taller de carpintería del departamento académico de industrias forestales pertenecientes a la facultad de Ciencias Forestales de la UNALM; donde se realizó el refinado de las virutas, la elaboración de los tableros, preparación de las probetas y las pruebas de resistencia mecánica y estabilidad dimensional; respectivamente.

#### **3.2 Materiales y Equipos**

##### **3.2.1 Especie**

Tornillo (*Cedrelinga cateniformis Ducke*) proveniente de las plantaciones de Jenaro Herrera (Iquitos) de 15, 24 y 29 años de edad; las que fueron colectadas por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) en cumplimiento al convenio de Cooperación Técnica suscrito con la UNALM.

##### **3.3 Equipos**

Medidor de ph

Cepilladora

Garlopa

Molino de aspas

Estufa eléctrica marca “MEMMERT”  
Bandejas metálicas  
Pistola pulverizadora  
Compresora de dos atmósferas de presión  
Prensa de platos calientes marca “ORMA MACCHINE”  
Calibrador “MITUTOYO”  
Prensa universal “TINIUS OLSEN”

### **3.4 Métodos**

#### **3.4.1 Determinaciones previas**

Se determinó el ph para cada edad tanto para la viruta obtenida de plantación como de bosque natural. Así también se hizo un análisis de las partículas obtenidas en el molino de aspas para determinar cual de las 5 mallas eran la más indicada para la preparación de los tableros, como se muestra en el cuadro N° 5.

**Cuadro N° 5: Número de mallas y sus dimensiones para la preparación de los tableros**

<b>N° de Malla</b>	<b>DIMENSIONES</b>	
	<b>ANCHO</b>	<b>LARGO</b>
1	3,90	21,32
2	3,32	12,69
3	3,28	8,07
4	2,26	7,96
5	1,89	6,25

Fuente: Elaboración Propia

#### **3.4.2 Preparación de las partículas**

Para la obtención de las partículas se utilizaron virutas pre-secadas al aire, las que fueron procesadas en un molino de aspas con la malla número 2

(ancho = 3,32 y largo = 12,69), y tamizadas para eliminar el polvillo con un tamiz de abertura de un milímetro. Esto permitió obtener partículas con un largo promedio de 8,6 mm, espesor promedio de 0,15 mm y ancho variable.



**FIGURA N° 5: Molino de aspas para la obtención de partículas para la elaboración de tableros**



**Figura N° 6: Prensa de platos calientes ORMA MACCHINE**



**Figura N° 7: Ensayos de flexión estática en la prensa universal “TINIUS OLSEN”**



**Figura N° 8: Mallas metálicas para la obtención de partículas para la elaboración de tableros**

### 3.4.3 Secado de las partículas

Las partículas obtenidas se secaron hasta un contenido de humedad de 4%, en una estufa a una temperatura máxima de 80 °C. Luego se pesaron en las cantidades requeridas para la obtención de un tablero de densidad de 0.68 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.4.4 Preparación de los tableros

Las partículas fueron encoladas con ayuda de una pistola pulverizadora procediéndose luego a la formación manual del Mat que posteriormente fue sometido a un pre prensado en frío.

Las condiciones para la elaboración del tablero de medidas: 40 cm x40 cm x 1,2 cm fueron:

- Densidad de tablero: 0,68 g/cm<sup>3</sup>
- Contenido de humedad: 12 %
- Resinosidad: 8 %, úrea formaldehído con 51 % de sólidos
- Catalizador : 8%
- Temperatura de platos: 140 ° C
- Presión manométrica: 40 Kg/cm<sup>2</sup>
- Tiempo de prensado: 12 minutos

Se fabricaron 4 tableros por cada edad proveniente de plantación (15, 24 y 29 años) y 4 tableros de bosque natural, los cuales fueron codificados, escuadrados y acondicionados para su posterior evaluación.

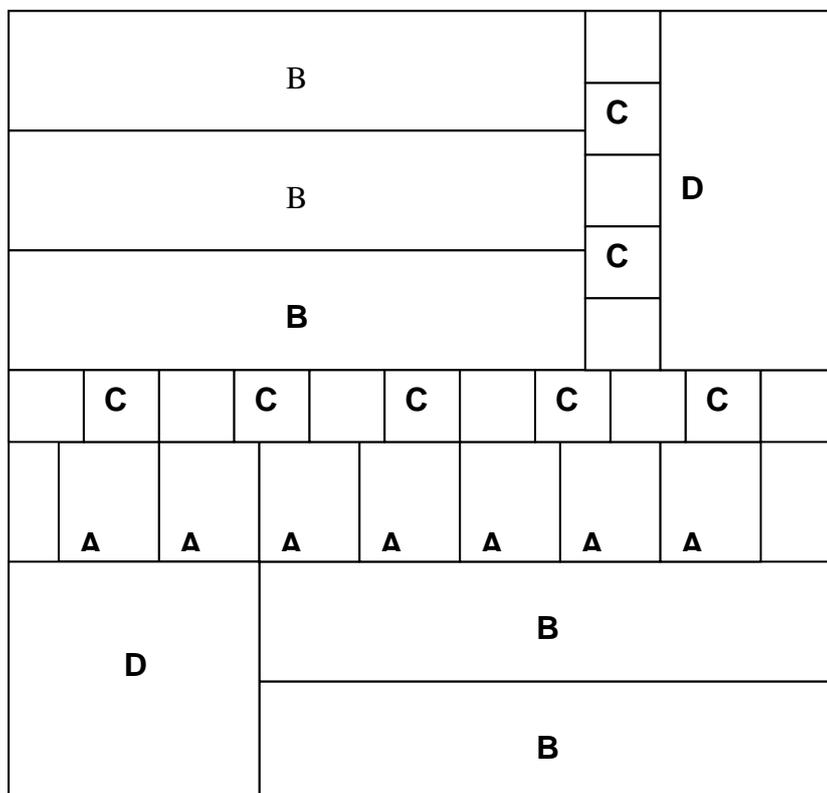
### 3.5 Evaluación de los tableros

La preparación de las probetas y los ensayos se hicieron de acuerdo a lo señalado en las Normas DIN:

Resistencia a la Flexión	DIN-52362
Absorción de agua y variación de espesor	DIN-52364
Tensión perpendicular	DIN-52365
Densidad	DIN-52361

La distribución y extracción de las probetas se muestran en la Figura N° 9, obteniéndose de cada tablero 5 probetas de 1,2x5x30 cm para los ensayos de resistencia a la flexión, 7 probetas de 1,2x5x5 cm para los ensayos de tensión perpendicular (Fig. N° 10) y densidad, 7 probetas de 1,2x2.5x2.5 cm para los ensayos de estabilidad dimensional (Fig. N° 11).

Se evaluaron las propiedades de resistencia mecánica y de estabilidad dimensional mediante determinaciones de resistencia a la flexión (MOR), tensión perpendicular, variación de espesor y absorción de agua a 2 y 24 horas.



**Figura N° 9: Distribución de las probetas en el tablero**

A: Densidad y Tracción Perpendicular (50x50x12 mm)

B: Flexión Estática (300x50x12 mm)

C: Absorción de agua y Hinchamiento en espesor (25x25x12mm)

D: Desperdicio del Tablero

Fuente: Acevedo (1983)



**Figura N° 10: Preparación de las probetas para los ensayos de Tensión perpendicular**



**Figura N° 11: Probetas de tableros de partículas para los Ensayos de estabilidad dimensional**

Los resultados se evaluaron estadísticamente mediante un diseño completamente al azar (DCA). En los tratamientos se consideraron 4 niveles de edades, tres de plantación y una de bosque natural. El Modelo Aditivo Lineal es el siguiente:

$$X_{im} = \mu_{..} + T_i + E_{im}$$

$X_{im}$  = Observación correspondiente a la  $i$ -ésima repetición del  $m$ -ésimo tratamiento.

$\mu_{..}$  = Media de todas las observaciones del experimento.

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

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

Asimismo los valores medios de resistencia mecánica y estabilidad dimensional se compararon con las exigencias mínimas de las normas DIN y CSA Standard 0188-75. Las comparaciones entre cada edad para determinar la significancia entre estas se hizo mediante la prueba de Tuckey.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSION**

### **4.1 Determinaciones Previas**

#### **4.1.1. Refinado de residuos de virutas provenientes del cepillado y garlopa.**

La geometría de las virutas provenientes de estas dos operaciones requiere refinamiento para una mayor homogeneidad en su geometría para lo cual se utilizó diferentes mallas de acuerdo a la metodología establecida. El cuadro N° 6 muestra los resultados de la relación partícula-polvillo.

De las alternativas de refinamiento se escogió para la preparación de los tablero las partículas las producidas con la malla # 2, en razón de que una apreciación cualitativa indicó mayor homogeneidad que la de malla # 1 y por la expectativa de que dichas partículas presenten un coeficiente de esbeltez de aproximadamente 85; valor que se encuentra dentro del rango señalado por Kollmann (1975)

#### **4.1.2. Análisis del Coeficiente de esbeltez**

El cuadro N° 7, muestra los resultados de esbeltez para cada edad, notándose que los valores de espesor varían de 0,10 a 0,30 mm y las longitudes, entre 4,97 mm a 13,8 mm; que dio lugar a coeficientes de esbeltez entre 26 a 104.

**CUADRO N° 6: RELACIÓN PARTICULA - POLVILLO**

Muestra 100 gr

N° de Malla	PARTICULA	POLVILLO	TOTAL
	(%)	(%)	(%)
1	84,89	15,11	100
2	80,82	19,18	100
3	76,29	23,71	100
4	73,64	26,36	100
5	72,78	27,22	100

Fuente: Elaboración Propia

**CUADRO N° 7: Valores promedios del coeficiente de esbeltez para tableros fabricados con Tornillo de plantación y de bosque natural**

EDADES	EDAD 15		
	L (mm)	e (mm)	C.E.
<b>Promedio</b>	9,01	0,16	62

EDAD 24		
L (mm)	e (mm)	C.E.
8,21	0,15	60

EDAD 29		
L (mm)	e (mm)	C.E.
8,52	0,15	60

<b>Mínimo</b>	4,98	0,10	26
<b>Máximo</b>	13,55	0,30	104

RANGOS		
4,97	0,10	28
11,65	0,24	103

5,03	0,10	32
13,80	0,22	92

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor apreciación de las partículas producidas el cuadro 8 muestra los resultados para los intervalos de esbeltez y de longitud en cada edad. Se nota que en el intervalo de esbeltez de 40 a 80 se presenta 63 % para la edad de 15 años; 66.6 % para la edad de 24 años; 73,3 % para la edad de 29 años y 90% para partículas provenientes de bosque natural.

En cuanto a la longitud de las partículas dentro del mismo rango de esbeltez se nota que en el rango de longitud 8-14 mm presentan 73,6%, 55% , 54,5% y 77,7% para las edades de 15, 24, 29 y bosque natural; respectivamente.

#### **4.1.3. Ph**

En las determinaciones del ph para las diferentes edades se obtuvieron para 15 años un promedio de 5,43; 24 años 6,4; 29 años 5.9 y bosque natural 6,13. En la cual se aprecia que no hay diferencias significativas entre ellas.

### **4.2 Tablero De Partículas**

#### **4.2.1 Propiedades Físicas**

##### **4.2.1.1 Densidad del tablero**

El cuadro N° 9, incluyen los valores promedios y coeficientes de variación de la densidad de los tableros fabricados para las diferentes edades con madera de plantación así como de bosque natural. Mayores detalles de los resultados experimentales se incluyen en el cuadro A-3 del anexo.

**CUADRO N° 8: Intervalos de esbeltez y de longitud de partículas de plantación y de bosque natural**

Coeficiente de esbeltez	LONGITUDES																			
	15 AÑOS					24 AÑOS					29 AÑOS					BN				
INTERVALOS	4_6	6_8	8_10	10_12	12_14	4_6	6_8	8_10	10_12	12_14	4_6	6_8	8_10	10_12	12_14	4_6	6_8	8_10	10_12	12_14
20-40	2	2	-	-	-	2	2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	-	-	-
40-60	1	3	7	1	-	1	7	4	1	-	1	8	5	-	-	1	5	9	-	-
60-80	-	1	2	4	-	-	1	5	1	-	-	1	4	1	2	-	-	8	2	2
80-100	-	-	1	4	1	-	-	4	1	-	-	1	2	1	1	-	-	2	-	-
100-120	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	3	6	10	9	2	3	10	13	4		1	13	11	2	3	1	6	19	2	2
CORTAS	9		-			13		-			14		-			7		-		
LARGAS	-		21			-		17			-		16			-		23		

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO N° 9: VALORES PROMEDIOS DE DENSIDAD DE LOS TABLEROS POR EDADES PROVENIENTES DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL CON UNA RESINOSIDAD DE 8%**

TABLERO N°	EDADES			
	15 años	24 años	29 años	BN*
1	0,576	0,647	0,666	0,642
2	0,604	0,633	0,654	0,655
3	0,589	0,668	0,654	0,655
4	0,611	0,623	0,637	0,645
<b>PROMEDIO</b>	0,595	0,643	0,653	0,649
<b>C.V.(%)</b>	2,647	3,050	1,811	1,012

\* Bosque Natural

Fuente: Elaboración propia

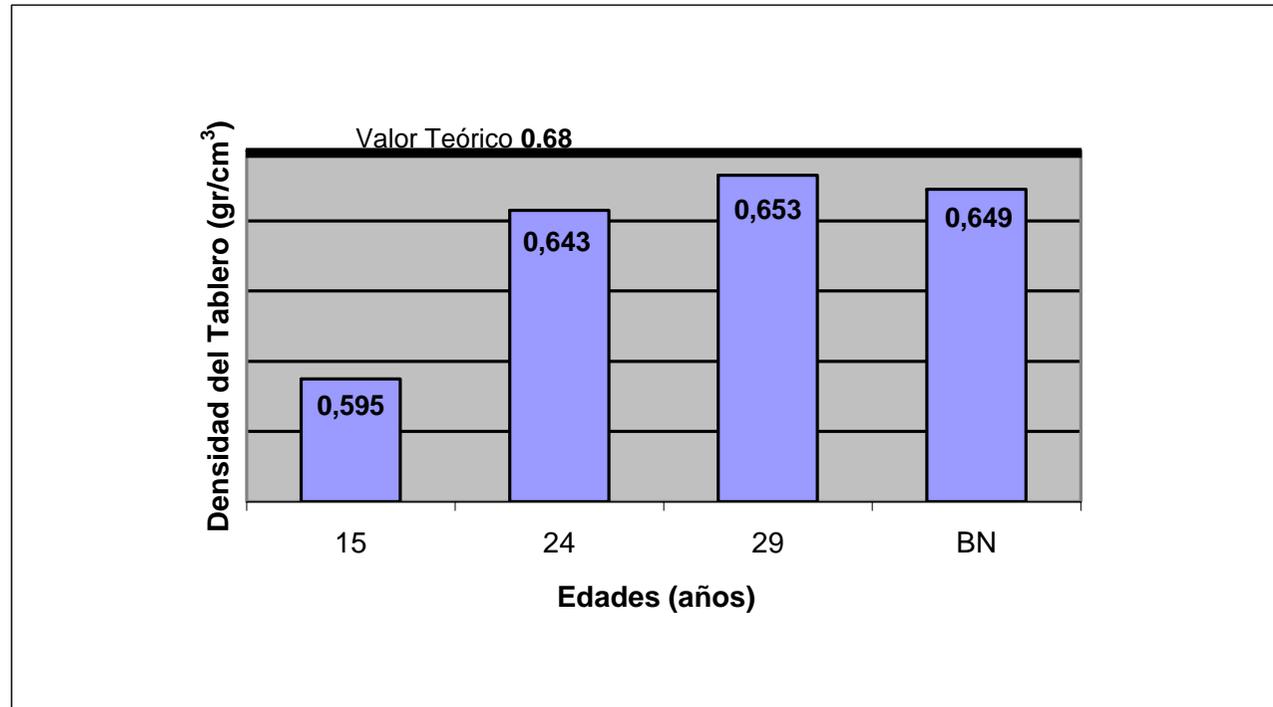
La figura N° 12, ilustra los valores promedios de la densidad de los tableros con respecto a la edad, cuyo valor promedio teórico es de  $0,68 \text{ g/cm}^3$ . El análisis estadístico ha demostrado que no hay diferencias significativas entre los tableros producidos con partículas de las edades de 24 y 29 años y de bosque natural; pero sí con la de 15 años. (Ver cuadro N° 10)

Asimismo, ningún tablero alcanza la densidad teórica de tablero probablemente por las condiciones de elaboración influenciadas por limitaciones en los equipos para producción del tablero. Las diferencias significativas que presentan los tableros producidos con partículas de 15 años con el resto de edades es un factor que se tiene que tener en cuenta en la discusión de los resultados físico mecánicos. Por lo que se ha creído conveniente no incluirlo en comparación con las otras edades.

#### **4.2.1.2 Absorción de agua**

El cuadro N° 11, presenta los valores promedios y coeficiente de variación de absorción para los tableros elaborados proveniente tanto de plantación como de bosque natural, cuyos datos experimentales se incluyen en el cuadro A-5 del anexo.

Se nota que el comportamiento en absorción para dos horas, sólo se encontró diferencias significativas entre los tableros producidos con partículas de 29 años y bosque natural; pero a las 24 horas no existe diferencias significativas.(ver figura N° 13)



**Figura N° 12: Valores promedios de la Densidad de los tableros vs Edades de Tornillo de plantación y de bosque natural**

**CUADRO N° 10: PRUEBA COMPARATIVA DE TUCKEY PARA TRES EDADES DE TORNILLO DE PLANTACIÓN Y BOSQUE NATURAL**

Comparación / Edades	DENSIDAD	MOR	TRACCIÓN	ABSORCIÓN		HINCHAMIENTO	
				2 HORAS	24 HORAS	2HORAS	24 HORAS
<b>15 - 24</b>	SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**
<b>15 - 29</b>	SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**
<b>15 - BN</b>	SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**
<b>24 - 29</b>	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**
<b>24 - BN</b>	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO					
<b>29 - BN</b>	NO SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO	SIGNIFICATIVO**	SIGNIFICATIVO**

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO N° 11 : Valores promedios y coeficientes de variación de la absorción en 2 horas y 24 horas para Tornillo de plantación y de Bosque Natural**

TABLERO N°	EIDADES							
	15 AÑOS		24 AÑOS		29 AÑOS		Bosque Natural	
	2horas	24horas	2horas	24horas	2horas	24horas	2horas	24horas
1	50,754	76,538	72,091	94,892	76,548	96,555	68,044	99,750
2	49,083	71,996	74,426	103,514	79,255	103,723	74,727	98,492
3	64,845	85,264	71,642	94,965	85,977	110,955	85,907	108,489
4	55,855	77,813	88,674	121,978	89,345	123,756	64,602	100,611
<b>PROMEDIO</b>	55,134	77,903	76,708	103,837	82,781	108,747	73,320	101,835
<b>C.V.(%)</b>	12,852	7,068	10,520	12,282	7,133	10,672	12,801	4,439

Fuente: Elaboración propia

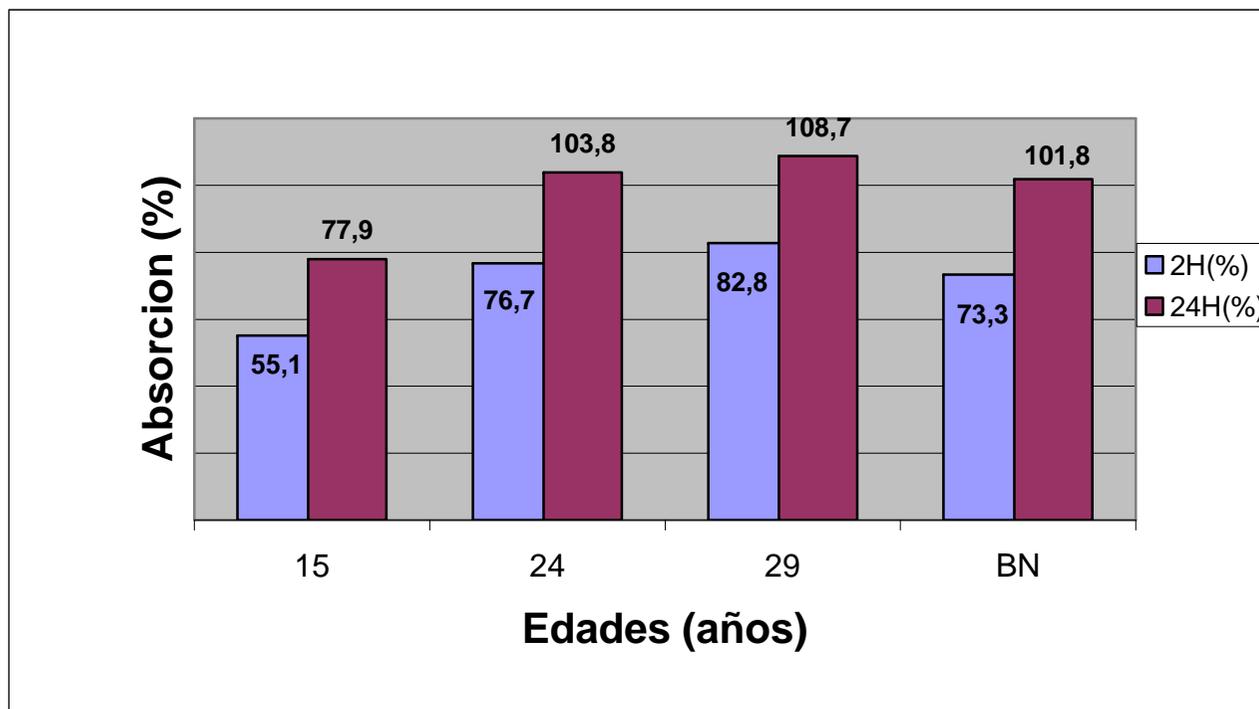


Figura N° 13: Valores promedios de la Absorción en 2 y 24 horas vs Edades de Tornillo de plantación y de bosque natural

Probablemente la higroscopicidad de la madera, la liberación de tensión en las partículas y la densidad básica de la madera influyen de un modo similar.

Las normas DIN no especifican valores máximos para esta propiedad, sin embargo, Kumar, mencionado por Maldonado (1992) indica valores promedios entre 45% y 95% y Garay (1980) obtiene valores promedios entre 57% y 61% para 2 y 24 horas respectivamente, en tableros con densidad de 0,75 Kg/cm<sup>2</sup> con una resinosidad de 8%. Si comparamos los resultados que se han obtenido estos no se encuentran dentro de los rangos señalados y sólo la edad de 15 años es la que más se acerca a estos valores.

#### **4.2.1.3 Hinchamiento**

El cuadro N° 12, incluyen los valores promedios y los coeficientes de variación de hinchamiento en 2 y 24 horas para tableros hechos con residuos de plantación así como también de bosque natural. Los datos experimentales se incluyen en el cuadro A-6 del anexo.

Se nota que en tableros elaborados con partículas provenientes de plantación, el hinchamiento para 2 y 24 horas tiene un comportamiento creciente con incrementos en la edad (Fig. N° 14), encontrándose diferencias estadísticas altamente significativas. Con respecto al tablero preparado con partículas de bosque natural: los tableros de 24 años sólo

**CUADRO N° 12 : Valores promedios y coeficientes de variación del Hinchamiento en 2 horas y 24 horas para Tornillo de plantación y de Bosque Natural**

TABLERO N°	EIDADES							
	15 AÑOS		24 AÑOS		29 AÑOS		Bosque Natural	
	2horas	24horas	2horas	24horas	2horas	24horas	2horas	24horas
1	7,872	14,503	21,002	29,075	30,233	38,185	16,849	24,032
2	11,022	15,527	22,075	32,391	30,786	41,277	23,203	30,552
3	12,100	18,568	26,309	33,903	32,208	46,632	25,360	33,120
4	11,690	20,299	29,568	40,200	27,700	39,712	22,020	30,961
<b>PROMEDIO</b>	10,671	17,224	24,739	33,892	30,232	41,452	21,858	29,666
<b>C.V.(%)</b>	17,977	15,559	15,974	13,761	6,225	8,870	16,535	13,218

Fuente: Elaboración propia

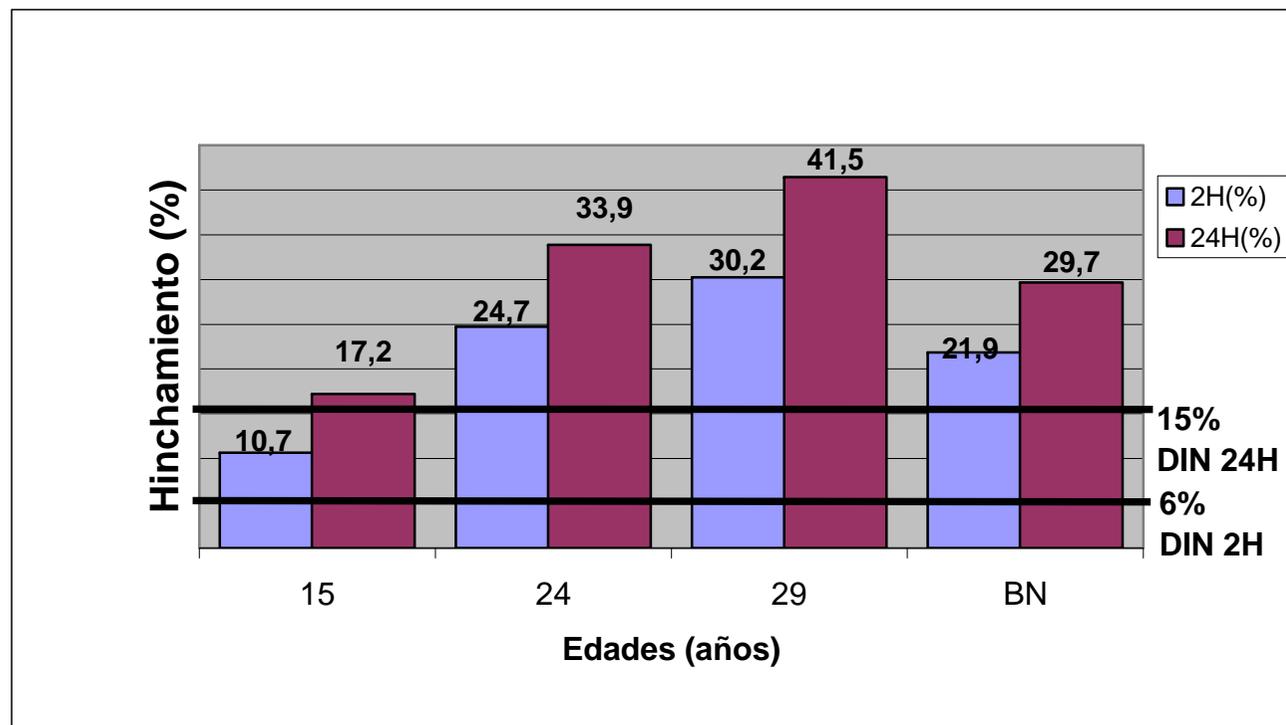


Figura N° 14: Valores promedio del Hinchamiento en 2 y 24 horas vs Edades de Tornillo de plantación y de bosque natural

presentan diferencias significativas en 24 horas y la de 29 años son altamente significativas tanto en 2 como en 24 horas (Ver cuadro N° 10)

Los resultados nos indican que, a pesar de una densidad de tablero similar para las edades de 24 y 29 años, los valores promedios en hinchamiento son mayores a crecientes edades debido a que tableros de partículas hechos con especies de mas baja densidad muestran un mayor grado de hinchamiento debido al mayor grado de compactación del Mat (Moslemi 1974a). Respecto a los resultados en tableros hechos con partículas de bosque natural, parece ser que el factor determinante es la geometría de la partícula; pues se nota que a mayor presencia de partículas cortas se presenta mayor hinchamiento (Brumbaugh 1960, Post 1961 citados por el Fondo de Fomento productivo de Chile 1991)

En las normas DIN especifican valores máximos y mínimos para esta propiedad tanto para 2 y 24 horas, siendo los valores 15% y 6% respectivamente. Los resultados indican que ninguna edad de plantación y de bosque natural cumple con los valores establecidos por la norma. Pero la de mayor estabilidad dimensional corresponde a la edad de 15 años.

En relación a los valores de los coeficientes de variación en hinchamiento de agua en 2 y 24 horas, en todos los tableros sobrepasan el 6% para 2 horas y 8% para 24 horas con respecto a sus espesores iniciales.

## **4.2.2 Propiedades Mecánicas**

### **4.2.2.1 Flexión estática: Módulo de ruptura (MOR)**

El cuadro N° 13, presenta los valores promedios y coeficiente de variación del módulo de ruptura para tableros fabricados en las diferentes edades, tanto de plantación como en bosque natural. El cuadro A-8 del anexo incluye los datos experimentales.

Los resultados no guardan relación definida con la edad, como se observa en la Figura N° 15, obteniéndose un mayor valor medio para tableros elaborados con partículas de plantaciones de 24 años y un valor promedio menor con tableros de 29 años. El análisis estadístico demuestra que hay diferencias significativas entre la edad de 29 años con la de 24 años y bosque natural. No presentando diferencias significativas entre los tableros de partículas de 24 años y bosque natural.

En estas diferencias influyen la densidad de la madera y la geometría de las partículas. Así, en los tableros de 24 años y bosque natural parecen compensarse una menor densidad básica (24 años) con un mayor porcentaje de partículas de mayor longitud (bosque natural); pues esta última característica favorece el incremento de módulo de ruptura en flexión (Poblete 1985)

Respecto a las diferencias significativas entre los tableros de 29 años con los de 24 años y de bosque natural; al comparar la de 24 con la de 29 años se nota similar porcentaje de partículas en el intervalo 40-80 de coeficiente

**CUADRO N° 13 : Valores promedios y coeficiente de variación del modulo de ruptura (MOR) en Flexión Estática para Tornillo de plantación y de Bosque Natural con una resinosidad de 8%**

<b>TABLERO</b>	<b>EDADES</b>			
<b>N°</b>	<b>15 AÑOS</b>	<b>24 AÑOS</b>	<b>29 AÑOS</b>	<b>Bosque Natural</b>
<b>1</b>	21,263	23,861	29,059	37,091
<b>2</b>	44,651	55,283	24,570	31,421
<b>3</b>	28,586	33,075	22,444	38,509
<b>4</b>	28,114	36,383	20,081	28,823
<b>PROMEDIO</b>	30,653	37,150	24,038	33,961
<b>C.V. (%)</b>	32,342	35,526	15,875	13,529

Fuente: Elaboración propia

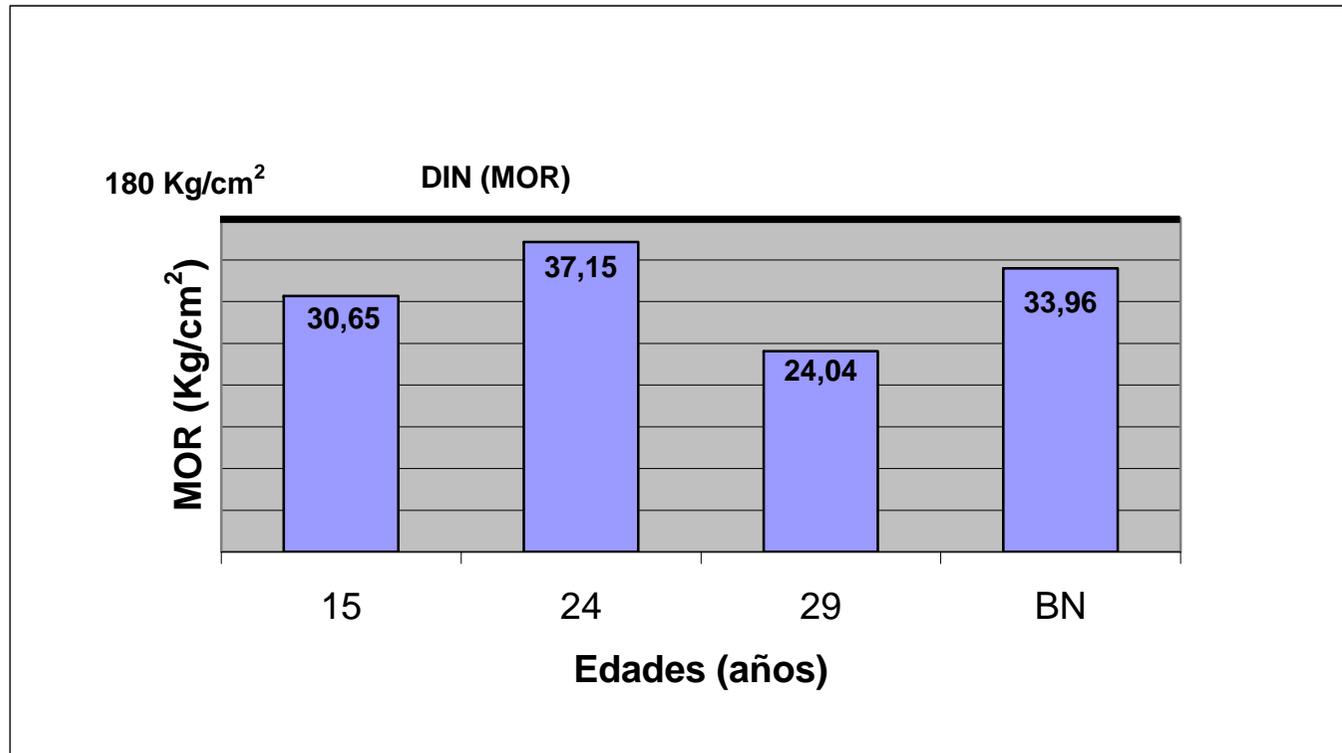


Figura N° 15: Valores promedios de Flexión Estática vs Edades de Tornillo de plantación y de bosque natural

de esbeltez, pero no hay que olvidar que la de 24 años tiene menor densidad básica y en consecuencia mostrará mayor valor de MOR de acuerdo a lo sostenido por Moslemi (1974) quien señala que los tableros elaborados con maderas de baja densidad tienen mayor resistencia a la flexión que los elaborados con especies de alta densidad explicable porque a menor densidad de la partícula habrá mayor volumen para una densidad determinada de tablero, lo que produce mayor contacto entre partículas resultando en una mejor adhesión interna de las partículas y por lo tanto propiciando una mayor eficiencia en el uso de la resina. Entre 29 años y bosque natural, la densidad básica es similar pero el porcentaje de partículas largas es mayor en la de bosque natural, este último factor parece ser el determinante.

Las normas DIN exige un valor mínimo de  $180 \text{ Kg/cm}^2$  para tableros de densidad media y la norma CSA Standard 0188-1975 que en su grado F exige un valor mínimo de  $91,4 \text{ Kg/cm}^2$  en consecuencia los resultados obtenidos indican que ningún tablero cumple con dichas condiciones. El valor promedio máximo alcanzado se obtuvo a la edad de 24 años ( $37,15 \text{ Kg/cm}^2$ )

En relación al coeficiente de variación los valores fluctúan entre 13,53% (Bosque natural) a 35,53% (24 años), valores que pueden explicarse por las características inherentes a la madera.

#### **4.2.2.2 Tensión Perpendicular**

El cuadro N° 14, presenta los valores promedios y coeficiente de variación de la tensión perpendicular para tableros fabricados en las diferentes edades, tanto de plantación como en bosque natural. El cuadro A-9 del anexo incluye los datos experimentales.

Los resultados no guardan relación definida con la edad, como se observa en la Figura N° 16, obteniéndose un mayor valor medio para tableros elaborados con partículas de plantaciones de 29 años y un valor promedio menor con tableros de 24 años. El análisis estadístico demuestra que hay diferencias altamente significativas entre la edad de 29 años con la demás edades. Siendo sólo significativo entre las edades de 15 y 24 años y no significativo entre la de bosque natural con las de 15 y 24 años (ver cuadro N° 10).

En los estudios sobre esta propiedad se da mayor importancia a la adhesión interna sobre todo en el centro del tablero por ser la zona crítica debido a que es la última en alcanzar la temperatura apropiada para el fraguado de la cola, temperatura que además tiene influencia en el perfil de densidad del tablero.

Este comportamiento atípico es difícil de explicar pues tienen aproximadamente el mismo porcentaje de partículas en el rango de esbeltez

**CUADRO N° 14 : Valores promedios y coeficiente de variación en Tensión Perpendicular para Tornillo de plantación y de Bosque Natural con una resinosidad de 8%**

TABLERO	EIDADES			
	15 AÑOS	24 AÑOS	29 AÑOS	Bosque Natural
1	1,175	1,029	2,989	0,970
2	1,209	0,861	2,731	1,123
3	1,102	0,948	2,565	1,041
4	1,517	1,322	2,532	1,177
<b>PROMEDIO</b>	1,251	1,040	2,704	1,078
<b>C.V.(%)</b>	14,646	19,228	7,718	8,430

Fuente: Elaboración propia

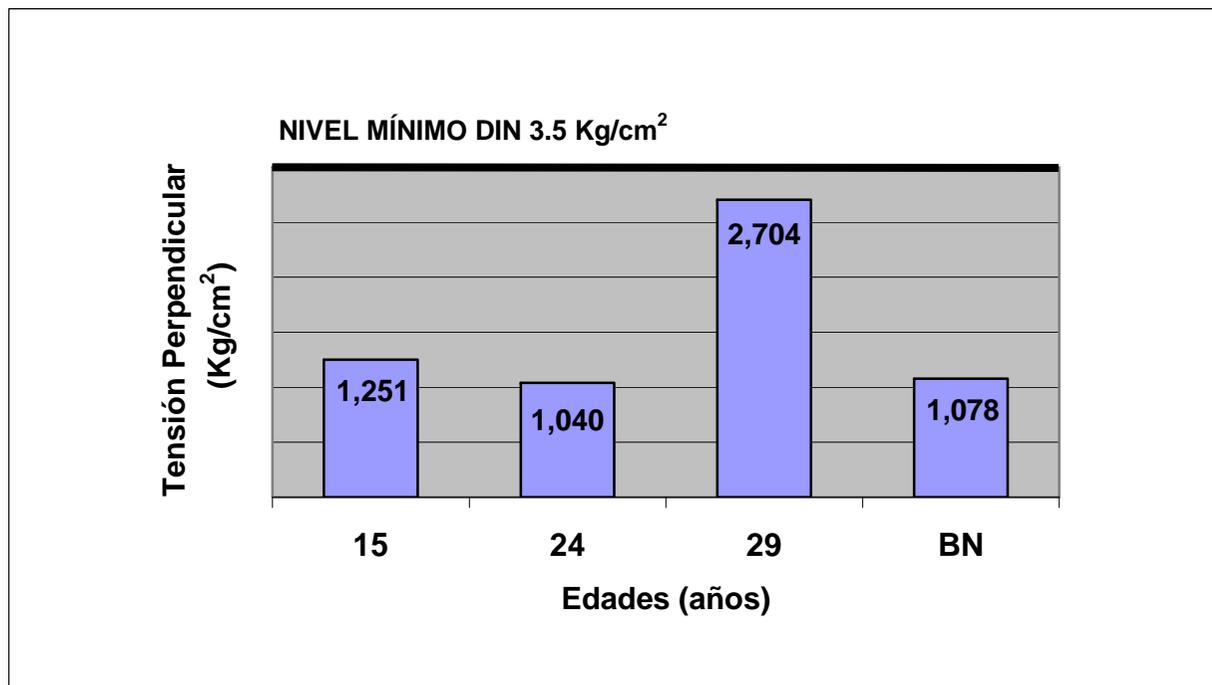


Figura N° 16: Valores promedios de la Tensión Perpendicular vs Edades de Tornillo de plantación y de bosque natural

40-80, ph similar y no se aprecia influencia de la densidad básica.

Las normas DIN exige un valor mínimo de 3,5 Kg/cm<sup>2</sup> para tableros de densidad media y la norma CSA Standard 0188-1975 que en su grado P, Q, E y T exige un valor mínimo de 2,8 Kg/cm<sup>2</sup> en consecuencia los resultados obtenidos indican que ningún tablero cumple con dichas condiciones. El valor promedio máximo alcanzado se obtuvo a la edad de 29 años (2,7 Kg/cm<sup>2</sup>)

En relación al coeficiente de variación, sus valores se encuentran entre 7,72% (29 años) y 19,23%, valores similares a los obtenidos por Maldonado (1992) y menores a los obtenidos por Garay (1980), quien reporta 40,4%.

#### **4.3 Evaluación de los tableros**

Las pruebas estadísticas indican que la densidad del tablero de 15 años difiere estadísticamente de las demás edades por lo que no es posible comparar sus resultados con el resto, ya que este factor resulta preponderante en los valores analizados. En consecuencia la evaluación comprende los tableros preparados con partículas de las edades de 24 años y 29 años, así como las elaboradas con partículas de bosque natural.

1. La influencia de la densidad básica de la madera de plantación sobre la absorción de agua a 2 y 24 horas no difiere significativamente. Pero se nota que el incremento del factor

densidad básica desmejora las propiedades del tablero en hinchamiento y flexión, pero mejora la tracción perpendicular.

2. En comparación con los tableros elaborados con partículas de bosque natural, los provenientes de partículas de 24 años tiene un similar comportamiento, tanto en absorción, hinchamiento, flexión (MOR) y tracción perpendicular.
  
3. Al comparar las propiedades físico-mecánicas de los tableros de plantación; los tableros de 24 años de edad presenta valores similares en absorción de agua, menor hinchamiento, mayor flexión estática (MOR) y menor tracción perpendicular que la de 29 años.

## V. CONCLUSIONES

En las condiciones de trabajo para la producción de los tableros, el estudio realizado permite concluir:

1. En la preparación de partículas se encontró alta heterogeneidad en los coeficientes de esbeltez, los que varían entre rangos de 40 a 80.
2. La densidad del tablero elaborado con partícula de 15 años presenta diferencias significativas con los otros tableros, por lo que no es objeto de comparación con los demás. Sin embargo a ese nivel de densidad de tablero presenta un mejor comportamiento en absorción, hinchamiento y similar en flexión estática.
3. Si bien es cierto que ningún tipo de tablero producido satisface las exigencias mínimas de 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.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Mejorar las condiciones de trabajo implementando equipos para la preparación de partículas, tamizado, encolado y formadores del Mat, que permitirá mejorar la calidad de los tableros elaborados.
2. Se recomienda profundizar los estudios sobre la geometría de la partícula para identificar el rango óptimo de esbeltez para la especie en estudio teniendo en cuenta de que se esta trabajando con residuos de la transformación mecánica de la madera.
3. Adicionalmente realizar estudios complementarios relacionados con la producción de tableros tales como: ph, contenido de extractivos y capacidad de buferización de importancia determinante en el fraguado de la resina que tiene influencia sobre la estabilidad y resistencia mecánica de los tableros.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, M. M. 1983. Determinación de la edad mínima para la producción de tableros de partículas con Gmelina arborea provenientes de las plantaciones de la reserva forestal de Ticoporo. Mérida, Venezuela. 73 p.
2. AROSTEGUI V. A. 1974. Características tecnológicas y usos de la madera de 145 especies del país. Vol. 1. Ministerio de Agricultura - Universidad Nacional Agraria La Molina. 483 p.
3. CONFEDERACION NACIONAL DE LA MADERA. 1996. Compendio de información técnica de 32 especies forestales. Tomo II. Lima-Perú. 68 p.
4. CALZADA, B. J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. 643 p.
5. FONDO DE FOMENTO PRODUCTIVO. 1991. Tableros a base de desechos de contrachapados. Corporación de Fomento de la Producción. Chile. 110 p.

6. GINZEL, PERAZA. 1966. Tecnología de tableros de partículas. Madrid-España. 187 p.
7. HEEBINK, H.; HANN, R. Y HASKELL, H. 1964. Particleboard quality as affected by planer shaving geometry. Forest Products Journal. 486-494 p.
8. HEEBINK, B.; LEHMANN, W. And HEFTY, F. 1972. Reducing particleboard pressing time: exploratory study. Brasil. FPL-180. 13 p.
9. INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA AMAZONIA PERUANA (IIAP), UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA "LA MOLINA" (UNALM) 2002. Estudio de la propiedades físico-mecánicas trabajabilidad y durabilidad natural de la Carahuasca (*Guatteria elata*), Marupa (*Simarouba amara*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) de plantaciones de diferentes edades provenientes de la estación experimental Jenaro Herrera. Lima-Perú.
10. JONHNS, W.E. and NIAZI, K.A. 1980. Effect of pH and buffering capacity of wood on gelation time of urea formaldehyde resin. Wood and fiber 12(4): 255-263.
11. KELLY, M. 1977. Critical literature review of relation ships between processing parameters and physical proprieties of particleboard. General technical report FPL 10. 64 p.

12. KOLLMANN, F. 1984. Principles of wood science and technology. Vol. 1. Berlín-Alemania. 592 p.
13. LEHMANN, W. F. et al. 1973. Factors affecting particleboard pressing time: Interaction with catalys systems. USDA Forest Service Reserch Paper FPL 208: 1-20 p.
14. MALDONADO T, C. 1992. Producción de tableros de partículas utilizando cuatro especies tropicales. Tesis de Post-grado, especialidad de Industrias Forestales, UNALM. Lima-Perú. 80 p.
15. MALONEY, M. T. 1977. Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing. Milles Freeman Publication Inc. San Francisco, USA. 672 p.
16. MOSLEMI, A.A. 1974. Particleboard Vol. I. Southern Illinois University Press. 245 p.
17. MONTEZA R, O. 1996. Aptitud de la madera del género Pinus procedente del raleo de plantaciones de Cajamarca, en la elaboración de tableros de partículas. Tesis de Ingeniero Forestal. UNALM. Lima-Perú. 86 p.
18. MOTTET L, A. 1954. The particle geometry factor in particleboard manufacturing.

19. POBLETE, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. Bosque 3(1): 39-46. Chile.
20. SUCHSLAND, O. 1967. Behavior of a particleboard mat during the press cycle. Forest product journal. Vol. (17)2
21. VITAL, R. B. 1974. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboard. Fores Products Journal. Vol. 24(12): 37-45.
22. VITAL, R. B, WILSON, J. B. 1980. Water absorption of particleboard and flakeboard. Wood and Fiber. Vol. 12(4). 264-271 p.

## **VIII. ANEXOS**



CUADRO A-1: Datos experimentales del coeficiente de esbeltez para tableros fabricados con Tornillo de												
plantación y de bosque natural												
EDAD 15			EDAD 24			EDAD 29			BN			
L (mm)	e (mm)	C.E.	L (mm)	e (mm)	C.E.	L (mm)	e (mm)	C.E.	L (mm)	e (mm)	C.E.	
10,91	0,16	68	6,15	0,17	36	9,18	0,10	92	8,45	0,20	42	
8,21	0,18	46	7,65	0,11	70	7,17	0,15	48	9,82	0,15	65	
11,42	0,14	82	8,49	0,14	61	12,43	0,16	78	12,43	0,16	78	
8,45	0,20	42	9,39	0,17	55	8,56	0,17	50	6,76	0,12	56	
11,49	0,17	68	10,90	0,12	91	8,06	0,13	62	8,30	0,10	83	
10,83	0,17	64	9,46	0,11	86	8,30	0,10	83	8,19	0,12	68	
6,23	0,12	52	6,47	0,14	46	6,04	0,19	32	8,20	0,14	59	
8,19	0,12	68	9,30	0,10	93	7,23	0,15	48	9,39	0,17	55	
9,98	0,10	100	5,57	0,11	51	9,76	0,22	44	8,63	0,20	43	
7,41	0,14	53	8,48	0,10	85	9,01	0,15	60	8,45	0,20	42	
7,49	0,20	37	9,90	0,22	45	8,46	0,20	42	7,80	0,20	39	
8,56	0,18	48	7,60	0,14	54	7,00	0,13	54	5,03	0,11	46	
10,37	0,11	94	10,12	0,15	67	11,62	0,14	83	10,12	0,15	67	
11,05	0,11	100	10,25	0,10	103	7,80	0,20	39	6,76	0,12	56	
10,33	0,12	86	9,25	0,11	84	6,18	0,14	44	9,67	0,14	69	
6,59	0,13	51	8,40	0,16	53	7,86	0,22	36	8,30	0,11	75	
5,19	0,10	52	7,85	0,16	49	6,74	0,12	56	8,63	0,20	43	
7,71	0,30	26	8,43	0,14	60	9,00	0,10	90	10,83	0,17	64	
9,26	0,20	46	11,65	0,22	53	5,03	0,11	46	9,82	0,15	65	
9,82	0,15	65	6,59	0,12	55	12,50	0,15	83	6,76	0,12	56	
13,55	0,13	104	8,35	0,13	64	7,14	0,14	51	9,46	0,11	86	
8,56	0,20	43	6,93	0,14	50	10,73	0,14	77	8,87	0,15	59	
10,56	0,18	59	9,67	0,14	69	9,18	0,14	66	7,23	0,15	48	
8,87	0,15	59	5,57	0,20	28	6,54	0,16	41	6,74	0,12	56	
5,60	0,16	35	6,76	0,12	56	7,69	0,11	70	8,30	0,11	75	

	10,13	0,15	68		6,60	0,13	51		8,11	0,15	54		8,06	0,13	62
	4,98	0,17	29		7,63	0,24	32		8,30	0,11	75		8,20	0,14	59
	8,51	0,20	43		8,63	0,20	43		13,80	0,20	69		12,43	0,16	78
	12,36	0,13	95		4,97	0,16	31		8,20	0,14	59		9,18	0,14	66
	7,68	0,11	70		9,15	0,10	92		7,84	0,13	60		8,87	0,15	59
<b>Promedio</b>	9,01	0,16	62		8,21	0,15	60		8,52	0,15	60		8,66	0,15	61
<b>C.V.</b>	23,54	27,12	35,62		20,27	26,79	32,97		23,66	23,22	28,35		18,26	20,97	20,90
<b>RANGOS</b>															
<b>Mínimo</b>	4,98	0,10	26		4,97	0,10	28		5,03	0,10	32		5,03	0,10	39,00
<b>Máximo</b>	13,55	0,30	104		11,65	0,24	103		13,80	0,22	92		12,43	0,20	86,00

**CUADRO A-1: Datos experimentales del coeficiente de esbeltez para tableros fabricados con Tornillo de plantación y de bosque natural**

EDAD 15			
L (mm)	e (mm)	C.E.	
10,91	0,16	68	
8,21	0,18	46	
11,42	0,14	82	
8,45	0,20	42	
11,49	0,17	68	
10,83	0,17	64	
6,23	0,12	52	
8,19	0,12	68	
9,98	0,10	100	
7,41	0,14	53	
7,49	0,20	37	
8,56	0,18	48	
10,37	0,11	94	
11,05	0,11	100	
10,33	0,12	86	
6,59	0,13	51	
5,19	0,10	52	
7,71	0,30	26	
9,26	0,20	46	
9,82	0,15	65	
13,55	0,13	104	
8,56	0,20	43	
10,56	0,18	59	
8,87	0,15	59	
5,60	0,16	35	
10,13	0,15	68	
4,98	0,17	29	
8,51	0,20	43	
12,36	0,13	95	
7,68	0,11	70	
<b>Promedio</b>	9,01	0,16	62
<b>C.V.</b>	23,54	27,12	35,62

**RANGOS**

<b>Mínimo</b>	4,98	0,10	26
<b>Máximo</b>	13,55	0,30	104

EDAD 24			
L (mm)	e (mm)	C.E.	
6,15	0,17	36	
7,65	0,11	70	
8,49	0,14	61	
9,39	0,17	55	
10,90	0,12	91	
9,46	0,11	86	
6,47	0,14	46	
9,30	0,10	93	
5,57	0,11	51	
8,48	0,10	85	
9,90	0,22	45	
7,60	0,14	54	
10,12	0,15	67	
10,25	0,10	103	
9,25	0,11	84	
8,40	0,16	53	
7,85	0,16	49	
8,43	0,14	60	
11,65	0,22	53	
6,59	0,12	55	
8,35	0,13	64	
6,93	0,14	50	
9,67	0,14	69	
5,57	0,20	28	
6,76	0,12	56	
6,60	0,13	51	
7,63	0,24	32	
8,63	0,20	43	
4,97	0,16	31	
9,15	0,10	92	
<b>Promedio</b>	8,21	0,15	60
<b>C.V.</b>	20,27	26,79	32,97

<b>Mínimo</b>	4,97	0,10	28
<b>Máximo</b>	11,65	0,24	103

EDAD 29			
L (mm)	e (mm)	C.E.	
9,18	0,10	92	
7,17	0,15	48	
12,43	0,16	78	
8,56	0,17	50	
8,06	0,13	62	
8,30	0,10	83	
6,04	0,19	32	
7,23	0,15	48	
9,76	0,22	44	
9,01	0,15	60	
8,46	0,20	42	
7,00	0,13	54	
11,62	0,14	83	
7,80	0,20	39	
6,18	0,14	44	
7,86	0,22	36	
6,74	0,12	56	
9,00	0,10	90	
5,03	0,11	46	
12,50	0,15	83	
7,14	0,14	51	
10,73	0,14	77	
9,18	0,14	66	
6,54	0,16	41	
7,69	0,11	70	
8,11	0,15	54	
8,30	0,11	75	
13,80	0,20	69	
8,20	0,14	59	
7,84	0,13	60	
<b>Promedio</b>	8,52	0,15	60
<b>C.V.</b>	23,66	23,22	28,35

<b>Mínimo</b>	5,03	0,10	32
<b>Máximo</b>	13,80	0,22	92

BN			
L (mm)	e (mm)	C.E.	
8,45	0,20	42	
9,82	0,15	65	
12,43	0,16	78	
6,76	0,12	56	
8,30	0,10	83	
8,19	0,12	68	
8,20	0,14	59	
9,39	0,17	55	
8,63	0,20	43	
8,45	0,20	42	
7,80	0,20	39	
5,03	0,11	46	
10,12	0,15	67	
6,76	0,12	56	
9,67	0,14	69	
8,30	0,11	75	
8,63	0,20	43	
10,83	0,17	64	
9,82	0,15	65	
6,76	0,12	56	
9,46	0,11	86	
8,87	0,15	59	
7,23	0,15	48	
6,74	0,12	56	
8,30	0,11	75	
8,06	0,13	62	
8,20	0,14	59	
12,43	0,16	78	
9,18	0,14	66	
8,87	0,15	59	
<b>Promedio</b>	8,66	0,15	61
<b>C.V.</b>	18,26	20,97	20,90

<b>Mínimo</b>	5,03	0,10	39,00
<b>Máximo</b>	12,43	0,20	86,00

**CUADRO A-2 : ANALISIS DE VARIANZA DEL COEFICIENTE DE ESBELTEZ DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON TORNILLO DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL**

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	COEFICIENTE DE ESBELTEZ			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	3	64	21,3	0,06	0,979
ERROR	116	38519,6	332,1		
TOTAL	119	38583,6			

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-3 : DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD DE TABLEROS FABRICADOS CON TORNILLO DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL**

15 AÑOS	TABLERO 1	TABLERO 2	TABLERO 3	TABLERO 4	24 AÑOS	TABLERO 1	TABLERO 2	TABLERO 3	TABLERO 4
1	0,618	0,663	0,616	0,636	1	0,621	0,591	0,632	0,616
2	0,584	0,638	0,569	0,597	2	0,658	0,636	0,602	0,636
3	0,583	0,674	0,624	0,632	3	0,647	0,627	0,627	0,640
4	0,575	0,614	0,623	0,630	4	0,664	0,642	0,567	0,629
5	0,581	0,656	0,635	0,627	5	0,646	0,617	0,635	0,623
6	0,604	0,605	0,611	0,573	6	0,658	0,657	0,729	0,622
7	0,623	0,580	0,591	0,625	7	0,642	0,659	0,714	0,610
8	0,587	0,608	0,610	0,601	8	0,664	0,630	0,634	0,631
9	0,557	0,611	0,568	0,620	9	0,668	0,620	0,685	0,629
10	0,568	0,602	0,558	0,601	10	0,639	0,618	0,699	0,610
11	0,597	0,586	0,555	0,594	11	0,653	0,650	0,733	0,618
12	0,549	0,569	0,602	0,599	12	0,681	0,635	0,698	0,615
13	0,589	0,591	0,600	0,601	13	0,617	0,649	0,628	0,629
14	0,588	0,583	0,513	0,614	14	0,662	0,634	0,701	0,635
15	0,532	0,620	0,593	0,612	15	0,687	0,644	0,703	0,637
16	0,597	0,556	0,581	0,635	16	0,640	0,635	0,687	0,635
17	0,544	0,527	0,537	0,575	17	0,632	0,635	0,658	0,630
18	0,530	0,580	0,597	0,632	18	0,599	0,604	0,682	0,583
19	0,536	0,606	0,604	0,611	19	0,613	0,651	0,686	0,609
<b>PROMEDIO</b>	0,576	0,604	0,589	0,611	<b>PROMEDIO</b>	0,647	0,633	0,668	0,623
<b>CV</b>	4,874	6,074	5,404	3,154	<b>CV</b>	3,596	2,805	6,777	2,208
<b>DESVEST</b>	0,028	0,037	0,032	0,019	<b>DESVEST</b>	0,023	0,018	0,045	0,014

RANGO					RANGO				
<b>MINIMO</b>	0,530	0,527	0,513	0,573	<b>MINIMO</b>	0,599	0,591	0,567	0,583
<b>MAXIMO</b>	0,623	0,674	0,635	0,636	<b>MAXIMO</b>	0,687	0,659	0,733	0,640

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-3 : DATOS EXPERIMENTALES DE LA DENSIDAD DE TABLEROS (continuación)**

29 AÑOS	TABLERO 1	TABLERO 2	TABLERO 3	TABLERO 4	BN	TABLERO 1	TABLERO 2	TABLERO 3	TABLERO 4
1	0,577	0,608	0,623	0,622	1	0,621	0,640	0,629	0,616
2	0,611	0,623	0,646	0,626	2	0,642	0,642	0,648	0,609
3	0,609	0,625	0,664	0,647	3	0,630	0,650	0,679	0,640
4	0,647	0,649	0,609	0,622	4	0,648	0,628	0,675	0,627
5	0,634	0,629	0,610	0,611	5	0,627	0,641	0,581	0,611
6	0,690	0,660	0,650	0,674	6	0,650	0,646	0,690	0,695
7	0,732	0,661	0,672	0,677	7	0,682	0,674	0,646	0,688
8	0,658	0,652	0,723	0,703	8	0,637	0,714	0,624	0,656
9	0,716	0,614	0,684	0,669	9	0,657	0,637	0,689	0,659
10	0,680	0,689	0,678	0,662	10	0,688	0,632	0,786	0,645
11	0,659	0,664	0,674	0,650	11	0,667	0,674	0,615	0,621
12	0,693	0,677	0,669	0,647	12	0,657	0,632	0,731	0,639
13	0,667	0,652	0,608	0,619	13	0,647	0,687	0,624	0,671
14	0,709	0,676	0,629	0,611	14	0,627	0,682	0,593	0,667
15	0,647	0,678	0,647	0,596	15	0,613	0,758	0,548	0,635
16	0,691	0,642	0,643	0,586	16	0,630	0,633	0,642	0,632
17	0,668	0,658	0,646	0,622	17	0,630	0,605	0,638	0,631
18	0,673	0,703	0,685	0,612	18	0,618	0,641	0,739	0,634
19	0,688	0,661	0,677	0,646	19	0,619	0,626	0,665	0,683
<b>PROMEDIO</b>	0,666	0,654	0,654	0,637	<b>PROMEDIO</b>	0,642	0,655	0,655	0,645
<b>CV</b>	5,891	3,898	4,657	4,809	<b>CV</b>	3,332	5,523	8,721	4,022
<b>DESVEST</b>	0,039	0,025	0,030	0,031	<b>DESVEST</b>	0,021	0,036	0,057	0,026

<b>RANGO</b>					<b>RANGO</b>				
<b>MINIMO</b>	0,577	0,608	0,608	0,586	<b>MINIMO</b>	0,613	0,605	0,548	0,609
<b>MAXIMO</b>	0,732	0,703	0,723	0,703	<b>MAXIMO</b>	0,688	0,758	0,786	0,695

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-4 : ANALISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON TORNILLO DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL**

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	DENSIDAD			
		SC	CM	Fcal	Significancia
EDAD	3	0,0087127	0,0029042	14,29	**
ERROR	12	0,0024383	0,0002032		
TOTAL	15	0,0111509			

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-5 : Datos experimentales de absorción para tableros fabricados con tornillo de plantación y de bosque natural**

TABLERO		EADAES							
N°	PROBETA N°	15 AÑOS		24 AÑOS		29AÑOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
1	1	40,000	60,000	76,596	97,872	77,083	97,917	63,830	93,617
	2	44,186	69,767	63,265	87,755	74,000	92,000	65,957	93,617
	3	57,500	77,500	56,863	78,431	82,609	102,174	71,111	102,222
	4	34,783	63,043	70,833	97,917	70,000	92,000	67,391	102,174
	5	55,000	90,000	76,596	97,872	75,000	97,917	67,391	100,000
	6	66,667	89,744	82,222	102,222	79,592	95,918	68,889	104,444
	7	57,143	85,714	78,261	102,174	77,551	97,959	71,739	102,174
	<b>PROMEDIO</b>	50,754	76,538	72,091	94,892	76,548	96,555	68,044	99,750
	<b>CV/TAB.</b>	22,341	16,372	12,570	9,183	5,308	3,762	4,102	4,393
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	34,783	60,000	56,863	78,431	70,000	92,000	63,830	93,617
	<b>MAXIMO</b>	66,667	90,000	82,222	102,222	82,609	102,174	71,739	104,444

TABLERO		EADAES							
N°	PROBETA N°	15 AÑOS		24 AÑOS		29AÑOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
2	1	41,860	67,442	68,750	97,917	97,778	126,667	60,417	89,583
	2	47,619	78,571	72,340	100,000	70,000	96,000	53,061	81,633
	3	40,000	64,444	76,596	108,511	66,000	84,000	39,623	54,717
	4	60,000	82,500	80,000	108,889	68,627	86,275	86,667	113,333
	5	60,000	90,000	72,917	97,917	75,000	104,167	90,244	112,195
	6	57,143	66,667	79,545	111,364	85,714	110,204	104,444	128,889
	7	36,957	54,348	70,833	100,000	91,667	118,750	88,636	109,091
	<b>PROMEDIO</b>	49,083	71,996	74,426	103,514	79,255	103,723	74,727	98,492
	<b>CV/TAB.</b>	20,155	16,967	5,850	5,617	15,719	15,483	31,698	25,295
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	36,957	54,348	68,750	97,917	66,000	84,000	39,623	54,717
	<b>MAXIMO</b>	60,000	90,000	80,000	111,364	97,778	126,667	104,444	128,889

Fuente: Elaboración propia

CUADRO A-5 : Datos experimentales de absorción (continuación)

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
3	1	61,905	85,714	88,889	113,333	84,444	117,778	86,047	109,302
	2	75,000	97,222	64,151	84,906	84,783	108,696	107,500	135,000
	3	61,905	80,952	68,000	90,000	82,609	130,435	135,135	170,270
	4	65,854	82,927	66,667	90,196	88,889	111,111	76,087	97,826
	5	72,973	91,892	77,083	102,083	91,111	106,667	72,727	88,636
	6	58,140	79,070	64,706	88,235	84,000	110,000	55,769	71,154
	7	58,140	79,070	72,000	96,000	86,000	92,000	68,085	87,234
	<b>PROMEDIO</b>	64,845	85,264	71,642	94,965	85,977	110,955	85,907	108,489
	<b>CV/TAB.</b>	10,486	8,124	12,346	10,380	3,485	10,470	31,471	31,199
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	58,140	79,070	64,151	84,906	82,609	92,000	55,769	71,154
	<b>MAXIMO</b>	75,000	97,222	88,889	113,333	91,111	130,435	135,135	170,270

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
4	1	54,762	78,571	95,556	128,889	100,000	133,333	52,083	100,000
	2	55,814	76,744	76,087	106,522	84,444	117,778	71,429	87,755
	3	54,545	77,273	84,783	117,391	87,805	119,512	75,556	117,778
	4	48,889	71,111	76,596	106,383	93,023	123,256	78,261	110,870
	5	70,000	87,500	82,609	117,391	84,444	115,556	69,565	100,000
	6	53,488	76,744	111,905	150,000	82,222	115,556	55,319	97,872
	7	53,488	76,744	93,182	127,273	93,478	141,304	50,000	90,000
	<b>PROMEDIO</b>	55,855	77,813	88,674	121,978	89,345	123,756	64,602	100,611
	<b>CV/TAB.</b>	11,847	6,275	14,291	12,457	7,156	8,000	18,249	10,628
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	48,889	71,111	76,087	106,383	82,222	115,556	50,000	87,755
	<b>MAXIMO</b>	70,000	87,500	111,905	150,000	100,000	141,304	78,261	117,778

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-6 : Datos experimentales de hinchamiento para tableros fabricados con tornillo de plantación y de bosque natural**

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
1	1	5,008	16,455	20,530	28,808	28,981	38,163	14,851	22,525
	2	11,440	17,860	18,937	27,243	29,905	38,634	16,913	25,944
	3	6,557	13,661	19,866	29,716	29,337	34,779	16,118	22,944
	4	4,826	10,997	26,612	34,545	30,282	37,981	16,833	25,207
	5	10,526	15,628	20,477	25,164	28,328	34,898	17,637	24,446
	6	10,962	17,155	19,783	30,467	34,235	42,688	16,113	24,419
	7	5,781	9,766	20,809	27,581	30,565	40,154	19,478	22,738
	<b>PROMEDIO</b>	7,872	14,503	21,002	29,075	30,233	38,185	16,849	24,032
	<b>CV/TAB.</b>	37,725	21,589	12,146	10,244	6,368	7,315	8,602	5,501
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	4,826	9,766	18,937	25,164	28,328	34,779	14,851	22,525
	<b>MAXIMO</b>	11,440	17,860	26,612	34,545	34,235	42,688	19,478	25,944

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
2	1	15,194	15,772	20,718	30,750	33,131	45,447	20,000	25,043
	2	10,050	14,950	20,258	29,540	28,523	38,003	21,021	27,163
	3	11,551	17,369	24,315	35,104	30,359	41,868	19,512	26,568
	4	11,093	17,181	25,439	36,234	20,000	33,701	23,509	30,494
	5	9,106	14,585	18,825	29,204	31,429	41,597	22,222	27,559
	6	11,990	17,652	23,347	32,571	36,932	42,674	33,936	48,234
	7	8,168	11,182	21,622	33,333	35,130	45,652	22,222	28,803
	<b>PROMEDIO</b>	11,022	15,527	22,075	32,391	30,786	41,277	23,203	30,552
	<b>CV/TAB.</b>	20,753	14,593	10,762	8,363	17,998	10,233	21,250	26,130
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	8,168	11,182	18,825	29,204	20,000	33,701	19,512	25,043
	<b>MAXIMO</b>	15,194	17,652	25,439	36,234	36,932	45,652	33,936	48,234

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-6 : Datos experimentales de hinchamiento (continuación)**

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
3	1	12,385	19,665	32,403	41,878	29,933	39,798	23,070	29,912
	2	11,222	15,046	25,224	31,837	30,840	39,318	26,445	37,741
	3	12,000	16,000	26,506	33,649	32,411	53,846	33,422	46,365
	4	12,604	18,948	24,979	28,431	35,498	52,554	25,581	32,903
	5	13,529	20,336	25,356	35,565	31,461	48,920	17,960	21,360
	6	10,973	19,950	23,254	30,649	32,255	45,274	26,702	32,984
	7	11,987	20,034	26,444	35,314	33,056	46,711	24,338	30,572
	<b>PROMEDIO</b>	12,100	18,568	26,309	33,903	32,208	46,632	25,360	33,120
	<b>CV/TAB.</b>	7,112	11,537	11,014	12,813	5,553	12,206	18,289	23,124
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	10,973	15,046	23,254	28,431	29,933	39,318	17,960	21,360
	<b>MAXIMO</b>	13,529	20,336	32,403	41,878	35,498	53,846	33,422	46,365

TABLERO		EIDADES							
N°	PROBETA N°	15 ANOS		24 ANOS		29ANOS		BOSQUE NATURAL	
		2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
4	1	11,819	21,542	37,093	43,442	31,199	44,007	28,326	31,502
	2	13,238	21,248	21,583	31,917	23,325	37,717	17,993	28,856
	3	11,417	20,500	30,808	41,382	23,737	36,953	23,661	37,219
	4	10,059	17,519	22,394	33,388	29,115	37,717	22,697	29,899
	5	13,277	20,084	25,021	36,371	26,058	37,593	20,319	28,799
	6	11,486	22,889	43,011	56,410	27,213	34,918	18,401	32,806
	7	10,535	18,311	27,070	38,493	33,250	49,079	22,739	27,642
	<b>PROMEDIO</b>	11,690	20,299	29,568	40,200	27,700	39,712	22,020	30,961
	<b>CV/TAB.</b>	10,502	9,199	26,950	20,494	13,412	12,558	16,125	10,558
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	10,059	17,519	21,583	31,917	23,325	34,918	17,993	27,642
	<b>MAXIMO</b>	13,277	22,889	43,011	56,410	33,250	49,079	28,326	37,219

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-7 : ANALISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO EN 2 Y 24 HORAS PARA TABLEROS FABRICADOS CON TORNILLO DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL**

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	ABSORCION DE AGUA								HINCHAMIENTO							
		2HORAS				24HORAS				2HORAS				24HORAS			
		SC	CM	Fcal	Signif.	SC	CM	Fcal	Signif.	SC	CM	Fcal	Signif.	SC	CM	Fcal	Signif.
EDAD	3	50,322	16,774	26,46	**	40,986	13,662	24,38	**	161,553	53,851	133,07	**	134,848	44,949	122,09	**
ERROR	108	68,462	0,634			60,512	0,56			43,707	0,405			39,763	0,368		
TOTAL	111	118,784				101,498				205,259				174,61			

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-8 : Datos experimentales del módulo de ruptura en flexión estática (Kg/cm<sup>2</sup>) para tableros fabricados con Tornillo de plantación y de bosque natural**

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	BOSQUE NATURAL
1	1	21,263	21,263	27,169	37,800
	2	20,081	22,444	28,350	42,525
	3	21,263	23,625	34,256	35,438
	4	22,444	23,625	29,531	33,075
	5	21,263	28,350	25,988	36,619
	<b>PROMEDIO</b>	21,263	23,861	29,059	37,091
	<b>CV/TAB.</b>	3,928	11,289	10,983	9,447
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	20,081	21,263	25,988	33,075
	<b>MAXIMO</b>	22,444	28,350	34,256	42,525

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	BOSQUE NATURAL
2	1	41,344	42,525	23,625	33,075
	2	37,800	59,063	23,625	31,894
	3	49,613	47,250	28,350	28,350
	4	37,800	66,150	23,625	31,894
	5	56,700	61,425	23,625	31,894
	<b>PROMEDIO</b>	44,651	55,283	24,570	31,421
	<b>CV/TAB.</b>	18,556	18,030	8,600	5,701
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	37,800	42,525	23,625	28,350
	<b>MAXIMO</b>	56,700	66,150	28,350	33,075

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-8 : Datos experimentales del módulo de ruptura (continuación)**

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	BOSQUE NATURAL
3	1	28,350	28,350	17,719	47,250
	2	21,263	28,350	28,350	41,344
	3	29,531	33,075	23,625	31,894
	4	33,075	34,256	21,263	40,163
	5	30,713	41,344	21,263	31,894
	<b>PROMEDIO</b>	28,586	33,075	22,444	38,509
	<b>CV/TAB.</b>	15,571	16,170	17,456	17,161
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	21,263	28,350	17,719	31,894
	<b>MAXIMO</b>	33,075	41,344	28,350	47,250

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	BOSQUE NATURAL
4	1	22,444	28,350	17,719	29,531
	2	23,625	29,531	21,263	33,075
	3	30,713	35,438	22,444	31,894
	4	30,713	41,344	20,081	23,625
	5	33,075	47,250	18,900	25,988
	<b>PROMEDIO</b>	28,114	36,383	20,081	28,823
	<b>CV/TAB.</b>	16,911	21,949	9,301	13,777
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	22,444	28,350	17,719	23,625
	<b>MAXIMO</b>	33,075	47,250	22,444	33,075

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-9 : Datos experimentales de tracción perpendicular (Kg/cm<sup>2</sup>) para tableros fabricados con Tornillo de plantación y de bosque natural**

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 ANOS	24ANOS	29ANOS	BOSQUE NATURAL
1	1	0,930	1,106	3,116	1,021
	2	1,273	1,204	2,883	0,749
	3	1,099	1,015	2,748	0,740
	4	1,642	1,114	2,619	1,111
	5	0,910	1,202	2,984	0,921
	6	1,273	0,739	3,386	1,211
	7	1,097	0,820	3,183	1,038
	<b>PROMEDIO</b>	1,175	1,029	2,989	0,970
	<b>CV</b>	21,402	17,842	8,822	18,308
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	0,910	0,739	2,619	0,740
	<b>MAXIMO</b>	1,642	1,204	3,386	1,211

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 ANOS	24ANOS	29ANOS	BOSQUE NATURAL
2	1	1,189	0,979	2,761	1,118
	2	1,116	1,025	2,883	1,284
	3	1,296	0,789	3,028	1,382
	4	1,113	0,713	2,316	1,156
	5	1,558	0,692	2,867	1,191
	6	1,004	0,974	3,068	0,990
	7	1,188	0,857	2,194	0,739
	<b>PROMEDIO</b>	1,209	0,861	2,731	1,123
	<b>CV</b>	14,728	15,671	12,548	18,660
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	1,004	0,692	2,194	0,739
	<b>MAXIMO</b>	1,558	1,025	3,068	1,382

Fuente: Elaboración propia



**CUADRO A-9 : Datos experimentales de tracción perpendicular (continuación)**

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	SQUE NATURAL
3	1	1,090	0,973	2,315	1,159
	2	1,462	1,114	2,503	0,837
	3	0,916	0,981	2,628	1,196
	4	1,008	0,597	2,553	0,802
	5	1,014	1,107	2,765	0,802
	6	1,102	0,933	2,692	1,128
	7	1,119	0,932	2,498	1,363
	<b>PROMEDIO</b>	1,102	0,948	2,565	1,041
	<b>CV</b>	15,768	18,186	5,757	21,657
<b>RANGO</b>	<b>MINIMO</b>	0,916	0,597	2,315	0,802
	<b>MÁXIMO</b>	1,462	1,114	2,765	1,363

TABLERO		EIDADES			
N°	PROBETA	15 AÑOS	24AÑOS	29AÑOS	QUE NATURAL
4	1	1,796	1,420	2,212	1,315
	2	0,931	1,693	2,198	1,387
	3	1,989	0,927	2,232	1,136
	4	1,117	1,502	2,489	1,175
	5	2,130	1,299	3,130	1,032
	6	0,919	0,927	2,798	1,215
	7	1,738	1,485	2,664	0,977
	<b>PROMEDIO</b>	1,517	1,322	2,532	1,177
	<b>CV</b>	33,908	22,246	13,985	12,362
<b>RANGO</b>	<b>MÍNIMO</b>	0,919	0,927	2,198	0,977
	<b>MÁXIMO</b>	2,130	1,693	3,130	1,387

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-10 : ANALISIS DE VARIANZA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS TABLEROS FABRICADOS CON TORNILLO DE PLANTACIÓN Y DE BOSQUE NATURAL**

FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	MOR				FUENTE DE VARIACIÓN	G.L.	TENSION PERPENDICULAR		
		SC	CM	F	Significancia			SC	CM	F
EDAD	3	1887,44	629,15	7,59	**	EDAD	3	53,215	17,738	216,03
ERROR	76	6298,89	82,88			ERROR	108	8,868	0,082	
TOTAL	79	8186,33				TOTAL	111	62,083		

Fuente: Elaboración propia

**CUADRO A-11: Valores promedios de módulo de ruptura y Tensión Perpendicular según grados de clasificación**  
**Norma CSA Estandar N° 0188-1975**

Propiedad Mecánica	GRADOS										
	P	Q	E	F	G	H	K	L	R	S	T
<b>1. Módulo de ruptura</b>	140,6	140,6	105,5	91,4	91,4	119,5	168,7	168,7	140,6	119,5	119,5
<b>2. Tensión Perpendicular</b>	2,8	2,8	2,8	11,5	11,5	3,5	14,1	14,5	4,6	3,5	2,8

FUENTE: CSA Standard N° 0188-1975

**CUADRO A-12: Uso actual de tableros de partículas. Norma CSA Estandar N° 0188-1975**

USOS	GRADO BASICO	ALTERNATIVAS											
		P	Q	E	F	G	H	K	L	R	S	T	
1. Alma para mueble de alta calidad	R												
2. Alma para mueble de calidad media	S									X			
3. Alma para paneles	T						X			X	s		
4. Escritorios, gabinetes y muebles de tocador	H									X			
5. Cubiertas de pared de interiores	F	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
6. Cubiertas de casas móviles "sin lijar"	P o K												
7. Cubiertas de casas móviles "lijada"	Q o L		X						X				
8. Under laymente, contrapiso	E		X				X			X	X		
9. Sub flooring (falso piso)	P		X										
10. Paredes exteriores y cielo raso	P		X										
11. Cubiertas de interiores	G						X			X	X	X	
12. Cubiertas de exteriores, cercas y manparas	P		X										

FUENTE: CSA Standard N° 0188-1975