

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA



UNSE 40 años
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES
Ing. Néstor René Ledesma



Conservar usando racionalmente
INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA
"Ing. Walter Facal"

“USO DE RESIDUOS DE GARLOPA Y CEPILLADORA
de las especies *Prosopis alba* y *Pinus sp.*
EN AGLOMERADOS”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN de
Paula Vanesa Jiménez

CARRERA: Ingeniería en Industrias Forestales

2013





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA



UNSE 40 años
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES
Ing. Néstor René Ledesma



**“USO DE RESIDUOS DE GARLOPA Y CEPILLADORA
de las especies *Prosopis alba* y *Pinus sp.*
EN AGLOMERADOS”**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN de
Paula Vanesa Jiménez**

CARRERA: Ingeniería en Industrias Forestales

2013



DIRECTOR

Juan Carlos Medina

TRIBUNAL EXAMINADOR

Msc. Estela Pan

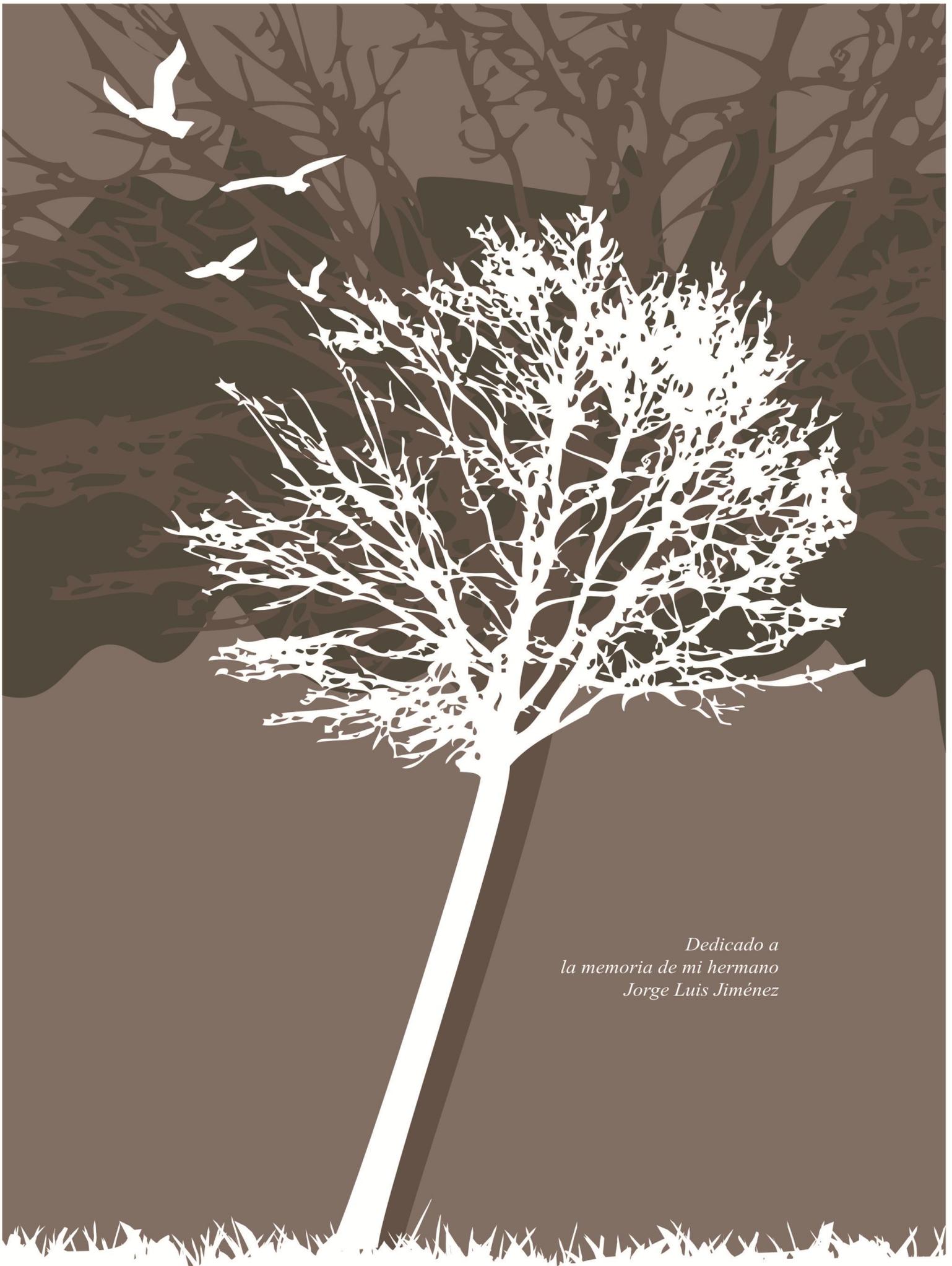
Ing. Silvia Velez

Dr. Juan Carlos Medina

Fecha de Defensa: _____

Calificación: _____





*Dedicado a
la memoria de mi hermano
Jorge Luis Jiménez*



Quiero agradecer:

A mis padres y hermanos por su apoyo durante todos estos años, por confiar en mí.

A mi director Dr. Juan Carlos Medina por su dedicación, paciencia, constante colaboración y orientación durante la realización de este trabajo. Por todas las enseñanzas recibidas, por ser el guía ideal para la culminación de esta etapa.

A César R. Jiménez; Ana S. Cerúsico; Sr. Gerónimo Palma y al Ing. Agustín Ruiz que hicieron posible la elaboración de los paneles.

A mi compañero Maximiliano Umlandt por su colaboración durante cada etapa de este trabajo y ayuda en la realización de ensayos.

A los que contribuyeron de una forma u otra a cumplir con esta meta.

A todos ellos muchas GRACIAS.



Índice General

	Pág.
Índice de tablas	3
Índice de figuras	4
Resumen	5
Abstract	6
1.- INTRODUCCIÓN	7
1.1.- Obietivos	10
2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1.- Pino (<i>Pinus sp</i>)	11
2.1.1.- Nombre botánico	11
2.1.2.- Distribución geográfica	11
2.1.3.- Importancia y usos de la especie	11
2.1.4.- Propiedades de la madera de pino	12
2.2.- Algarrobo (<i>Prosopis nigra</i> , <i>Prosopis alba</i>)	12
2.2.1.- Nombre botánico	12
2.2.2.- Distribución geográfica	12
2.2.3.- Importancia y usos de la especie	13
2.2.4.- Propiedades de la madera de algarrobo	15
2.3.- Residuos	16
2.3.1.- Definición.	16
2.3.2.- Residuos de madera, definición.	16
2.3.3.- Clasificación de los residuos de madera.	16
2.3.4.- Antecedentes y usos de los residuos de madera	18
2.4.- Tableros de partículas	21
2.4.1.- Concepto	21
2.4.2.- Clasificación de los taleros de partículas	22
2.4.3.- Variables que afectan las propiedades de los tableros	23
2.4.3.1.- Materia prima	23
2.4.3.2.- Peso específico de la madera	24
2.4.3.3.- Geometría de las partículas	26
2.4.3.4.- Adhesivos y encolado	27
2.4.3.5.- Formación del colchón	29
2.4.3.6.- Prensado	30
2.4.4.- Control de calidad	31
2.4.4.1.- Hinchamiento	31
2.4.4.2.- Flexión	32
2.4.4.3.- Tracción perpendicular	34
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1.- Materiales	36



	Pág.
3.1.2.- Adhesivos	36
3.1.3.- Equipos	36
3.2.- Método	37
3.2.1.- Elaboración de paneles de partículas convencional de uso interior	38
3.2.1.1.- Producción de virutas en garlopa y cepilladora	40
3.2.1.2.- Secado de virutas	40
3.2.1.3.- Separación de partículas por tamaño	41
3.2.1.4.- Encolado de las partículas	42
3.2.1.5.- Formación del colchón	43
3.2.1.6.- Prepresado del colchón de partículas	44
3.2.1.7.- Presado del colchón de partículas	44
3.2.1.8.- Acondicionado de los tableros de partículas	45
3.2.1.9.- Escuadrado y corte de probetas	46
3.2.2.- Ensayos físicos y mecánicos	47
3.3.- Análisis estadístico de los datos	47
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1.- Características de la materia prima	48
4.1.1.- Virutas	48
4.1.1.1.- Dimensiones (coeficiente de esbeltez)	48
4.1.1.2.- Granulometría de las partículas	49
4.2.- Propiedades físicas	50
4.2.1.- Peso específico	50
4.2.2.- Hinchamiento en agua a 2 horas y 24 horas	51
4.3.- Propiedades mecánicas: Flexión Estática	54
4.3.1.- MOR	54
4.3.2.- MOE	56
5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
5.1.- Virutas	59
5.2.- Hinchamiento en agua	59
5.3.- Flexión estática	60
6.- BIBLIOGRAFÍA	61
7.- ANEXOS	
ANEXO 1	
ANEXO 2	
ANEXO 3	
ANEXO 4	



Indice de Tablas

	Pág.	
Tabla N° 1	Propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus sp. al 15% de humedad.	12
Tabla N° 2	Propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo blanco (Prosopis alba) al 15% de humedad.	15
Tabla N° 3	Propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo negro (Prosopis nigra) al 15% de humedad.	15
Tabla N° 4	Destinos de los residuos según su fuente de origen.	20
Tabla N° 5	Composición de la cola.	42
Tabla N° 6	Presión y tiempo de prensado.	45
Tabla N° 7	Valores medios del largo y espesor de las virutas de las dos especies y coeficiente de esbeltez calculado.	48
Tabla N° 8	Valores porcentuales de las distintas fracciones obtenidas en el tamizado. incluyendo polvo y rechazos.	49
Tabla N° 9	Valores medios y coeficiente de variación del peso específico de los tableros aglomerados.	50
Tabla N° 10	Relación de Compresión para los aglomerados puros de algarrobo y pino.	51
Tabla N° 11	Valores medios y coeficiente de variación del Hinchamiento en agua a 2 Hs y 24 Hs de los tableros aglomerados.	51
Tabla N° 12	Resumen de los Análisis de Variancia efectuados para los resultados de hinchamiento 2 Hs y 24 Hs de los paneles aglomerados.	52
Tabla N° 13	Test de Tukey para comparación de medias de hinchamiento de 2 horas.	52
Tabla N° 14	Test de Tukey para comparación de medias de hinchamiento de 24 horas.	52
Tabla N° 15	Parámetros estadísticos obtenidos en la determinación del MOR.	54
Tabla N° 16	Análisis de la Varianza para los valores de MOR.	54
Tabla N° 17	Test de Tukey para comparación de medias de MOR.	55
Tabla N° 18	Parámetros estadísticos obtenidos en la determinación del MOE.	56
Tabla N° 19	Análisis de la Varianza para los valores de MOE.	56
Tabla N° 20	Test de Tukey para comparación de medias de MOE.	57



Índice de Figuras

	Pág.
Figura N° 1 Representación gráfica de los residuos clasificados por Medina (2012b) como piezas largas, piezas cortas y costaneras.	17
Figura N° 2 Relación entre densidad de madera, espesor de la partícula y cantidad de adhesivo.	28
Figura N° 3 Equipos utilizados en la fabricación de los aglomerados.	37
Figura N° 4 Diagrama de flujo de elaboración de paneles convencionales de uso interior.	39
Figura N° 5 Operación de cepillado y garlopeado de madera de <i>Prosopis alba</i> .	40
Figura N° 6 Secadero con virutas de <i>Pinus sp.</i>	41
Figura N° 7 Separación de virutas mediante zaranda.	42
Figura N° 8 Encolado de las virutas en encoladora de tambor rotativo.	43
Figura N° 9 Formación del colchón de virutas.	43
Figura N° 10 Prepresado del colchón de partículas.	44
Figura N° 11 Etapa de presado de los tableros.	45
Figura N° 12 Esquema seguido en la extracción de las probetas.	46
Figura N° 13 Probetas para los ensayos físicos y mecánicos.	46
Figura N° 14 Histograma en porcentaje de la frecuencia de los tamaños de virutas para ambas especies.	49



RESUMEN

El presente trabajo estudia la posibilidad de perfeccionar la incorporación de virutas de garlopa y cepilladora, a la producción de aglomerados de uso interior.

Para la fabricación de los tableros se utilizó virutas de madera de *Prosopis alba* y *Pinus* sp.

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado de tres tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Los tratamientos fueron aglomerados de algarrobo puro, pino puro y mezcla de ambos.

Con el fin de evaluar los resultados, sobre los tableros elaborados, se determinaron la humedad, el peso específico, el hinchamiento 2 Hs y 24 Hs y la flexión estática.

Los resultados, en general, resultaron inferiores a los requerimientos de las exigencias de la Norma DIN usada como control de la calidad física y mecánica de los aglomerados. La causa principal que interfirió en la calidad fue la forma y dimensiones de las virutas. Para revertir estos resultados se deberán seleccionar las virutas antes de la compra y someterlas a molinado para mejorar la dimensión y la homogeneidad a fin de ajustarlas a los requerimientos de los aglomerados.

Por último, se exponen recomendaciones para continuar con la investigación.

Abstract

This paper we study the possibility to perfect the carpentry residue incorporation in the production of particleboards. Mainly of indoor use conventional particleboards.

Shavings of *Prosopis alba* and *Pinus sp.* were used for the manufacture of the particleboards.

For statistical analysis using a completely randomized design with three treatments with five replicates each experimental design was used.

To evaluate the results, the boards produced, humidity, specific weight, swelling 2 Hs and 24 Hs and de static bending strength were determined.

The results generally were inferior to the requirements of the DIN standard used as a control of physical and mechanical quality of the particleboards. The main cause that interfered with the quality was the shape and dimensions of the chips. To reverse these results should be selected chips before purchase and submit them milled to enhance the size and homogeneity in order to conform to the requirements of the particleboards.

Finally, recommendations are presented for continue the investigation.

1.- INTRODUCCIÓN

Las diferentes actividades industriales generan residuos que son una de las mayores fuentes de impacto ambiental. Entre ellas, la industria de la madera tiene la característica de generar grandes volúmenes de residuos durante el proceso de explotación y elaboración de la misma.

A lo largo de los años, los residuos de madera se han considerado como un inconveniente para las industrias. En el mundo hay una tendencia cada vez más marcada a utilizar los residuos de la industria forestal, ya sea como materia prima para obtener otros productos, o con fines energéticos. Estas aplicaciones obedecen no sólo al uso económico de estos desechos, sino a una necesidad social de proteger el medioambiente, pues éstos por otro lado constituyen una potencial fuente de contaminación.

Para la **Asociación Española de Recuperadores de Madera (2003)**, la recuperación y reciclaje de madera contribuye al respeto del medio ambiente porque:

- Se disminuye considerablemente el porcentaje de madera virgen empleada, por ejemplo en la fabricación de tableros de partículas, dado que disminuye la presión sobre los montes existentes.
- Si se dedica a fabricación de compost, sirve para recuperar suelos degradados, a los que mejora su calidad.
- Además de generar ganancias, su reciclaje permite que continúe su función como acumulador de dióxido de carbono (CO₂).

El **Instituto Galego de Promoción Económica (2013)**, indica que no sólo es necesario recoger la madera por razones ambientales sino, también, para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y sociológicos. La tendencia empresarial en el sector de la fabricación prioriza invertir en una óptima gestión de los residuos ya que esto ayudará a un mejor aprovechamiento de la materia prima pudiendo reutilizar así aquellos materiales que en un momento dado están catalogados como desperdicios.

Los productos fabricados a base de madera desmenuzada en forma de fibra, virutas y muchos otros tipos de partículas tienen especial aceptación ya que pueden fabricarse y de hecho se fabrican con residuos de las actividades madereras, con especies arbóreas no comerciales o de poco valor y con desperdicios agrícolas. Este aprovechamiento es ecológico ya que materiales anteriormente desechados se utilizan y se utilizarán en la fabricación de productos útiles, contribuyendo así a la conservación de especies más valiosas. Los productos a base de madera desmenuzada actualmente comercializados reúnen características muy positivas frente a la madera sólida: disponibilidad en grandes planchas, superficies lisas, uniformidad de las propiedades de los paneles y carencia de defectos localizados **(Maloney, 1986)**.

Los residuos tienen, como materia prima para la industria de aglomerado, dos características importantes que inicialmente afectan negativamente la calidad de los mismos: la mezcla de especies y por ende de pesos específicos y la geometría variada de las partículas.

Según una encuesta realizada por la Dirección de Producción Forestal en 2010 a la industria maderera y del papel en Argentina, la producción de tableros de partículas es de 567.913 metros cúbicos y se prevé una inversión de 1.104.017 de dólares para equipamiento de este tipo de industria **(MAGyP, 2011)**.

La producción mundial de tableros de partículas es de unos 40 millones de m³ al año. Esta industria se ha desarrollado en los últimos diez años del siglo pasado, sobre todo en los países industrializados. Simultáneamente a la expansión de este método sumamente eficaz de utilizar la madera en la fabricación de tableros, se han perfeccionado los equipos, las herramientas y las resinas sintéticas **(Maloney, 1986)**. La principal ventaja ecológica de utilización de restos de madera por las industrias de tablero, es la fijación de carbono que se acumula en los tableros, mientras que la quema de restos produce el efecto contrario: liberando CO₂ y, por lo tanto, contaminando la atmósfera **(ANFTA, 2002)**.

Celano et al., (2006) estimó que en Argentina la cantidad de residuos anuales en forma de aserrín y virutas de bosques implantados ascendería a 250.000 m³.

En la provincia de Santiago del Estero, Argentina, no existen estudios sobre la cantidad de residuos que se generan de la actividad maderera en general y menos aún de las carpinterías (**Medina et al., 2012b**).

Si bien el uso de residuos en la fabricación de aglomerados es materia corriente en algunos países, según se lee en diferentes artículos, es escasa la información pública disponible existente sobre cómo y cuánto residuo incorporar a la fabricación de aglomerados.

El presente estudio se enmarca dentro de las líneas de investigación del proyecto denominado “Diversificación del uso de residuos de carpinterías” que se desarrolla en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Se evaluó la incorporación de las virutas tal cual como salen de las carpinterías para tener una idea del piso de calidad de tableros que se puede obtener. Esta “línea de base” servirá de partida para eventuales modificaciones que permitan mejoras de los tableros.

Se eligieron las virutas de las especies de pino y algarrobo por ser las especies que más emplean las carpinterías de Santiago del Estero para la elaboración de muebles. Siendo la madera de algarrobo blanco la madera que por excelencia se consume, representando el 80% su participación.

1.1.- Objetivos

Objetivo general: aportar nuevos conocimientos que contribuyan al uso de los residuos de carpintería en la industria del aglomerado de Argentina.

Objetivo específico: determinar la factibilidad del uso de residuos de la garlopa y cepilladora; sin modificaciones, en la fabricación de aglomerados convencional de uso interior.

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. - Pino

2.1.1. - Nombre botánico

Los pinos son especies pertenecientes al género *Pinus*, familia Pinaceae. Hay más de cien especies comúnmente reconocidas por los taxónomos, prácticamente la totalidad originarias de los países del hemisferio norte.

2.1.2.- Distribución geográfica

La distribución natural del género abarca desde las regiones árticas y subárticas de Norteamérica y Eurasia hasta las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y Eurasia. Norteamérica es especialmente rica con un total de 65 especies, de éstas 38 ocurren en Norteamérica al norte de México (de acuerdo a la Flora de Norteamérica, vol. 2, 1993) y 43 existen en México y América Central de acuerdo a la monografía de la Flora Neotrópica (**Farjon & Styles, 1997**).

2.1.3.- Importancia y usos de la especie

Según **Price et al., (1998)** citado por **Rosas Ávila (2008)**, los pinos son importantes productores de madera en muchos países, a partir de formaciones naturales como un recurso natural forestal o en plantaciones forestales.

Martínez (1992) citado por **Rosas Ávila (2008)**, menciona que el género *Pinus* es considerado como un recurso forestal importante, ya que de él se obtienen madera, trementina, semillas, carbón, aguarrás, brea, ácido piroleñoso, alquitrán y alcohol metílico entre otros subproductos.

En lo que respecta a su madera, el pino es utilizado para: postes (impregnados), encofrado, carpintería, compensado, paneles aglomerados, terciados, cajonería, embalaje, envases, tirantería, pasta celulósica, entablonado, revestimientos, tarimas, cielorrasos y puertas (**MAGyP, 2012**).

2.1.4.- Propiedades de la madera de pino

A continuación se presenta la Tabla N° 1 con los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus sp.* al 15% de humedad.

Tabla N° 1: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus sp.* al 15% de humedad.

Propiedades físicas	Densidad (kg/dm ³)		0,480-0,520
	Contracciones %	Radial	2,0-3,9
		Tangencial	2,8-7,2
		Volumétrica	4,5-11,8
Relación T/R			1,40-1,84
Propiedades mecánicas	Flexión (kg/cm ²)	MOR	605-710
		MOE	78.500-100.400
	Compresión axial (kg/cm ²)	MOR	300-390
		MOE	116.100-142.00
	Dureza (kg/cm ²) normal a las fibras		

Fuente: MAGyP, 2012.

2.2. - Algarrobo

2.2.1. - Nombre botánico

El género *Prosopis* pertenece a la subfamilia Mimosaceae, familia leguminosae, comprende 44 especies, de gran importancia en la composición arbórea y arbustiva de zonas áridas y semiáridas (**Galera, 2000**).

2.2.2. - Distribución geográfica

“La distribución del género *Prosopis* comprende el Sureste de Asia (tres especies nativas), África tropical (una especie nativa) y América (40 especies). En este continente se distribuye desde el S.O. de EE.UU. hasta la Patagonia Argentina y Chile. De un total de 31 especies Sudamericanas, 11 son endémicas de Argentina” (**Burkart, 1976; Hunziker y col., 1986; citados por Galera, 2000**).

Según **Burkart (1976)** y **Adámoli (1973)** citados por **Galera (2000)**, en Argentina el Algarrobo blanco, *Prosopis alba*, se encuentra en la zona centro y

norte del país, correspondiendo a las provincias fitogeográficas Chaqueñas y del Espinal, y penetra en la provincia fitogeográfica del Monte en el sector Noroeste. A menudo está acompañada por otras especies del mismo género como *Prosopis nigra*, *P.kuntzei*, *P.ruscifolia* y otras especies en Argentina, Paraguay, Uruguay, sur de Brasil y Perú. Alcanza una frecuencia del 85% en todo el Chaco.

Mientras que el algarrobo negro, *Prosopis nigra*, se distribuye en las provincias Fitogeográficas Chaqueñas, parte del Monte y del Espinal. En la provincia de Salta, aparece sólo esporádicamente en el quebrachal. Es un árbol peridoméstico, en Santiago del Estero da origen a extensas formaciones en los alrededores de las ciudades. Favorecido por el fuego o la tala, juega un importante papel en las etapas de degradación. Es una especie colonizadora, en Santiago del Estero se observa que al desarbustar el campo una de las primeras especie que aparece es *Prosopis nigra* (Roig, 1993; citado por Galera, 2000).

En la región del Chaco el algarrobo negro es componente normal del bosque de maderas duras. Prefiere el sector seco, por debajo de 1000 mm anuales (Adámoli, 1973; citado por Galera, 2000). La zona de mayor abundancia de individuos la encontramos en la región centro-norte del país con precipitaciones entre 500 y 800 mm (Galera, 2000).

2.2.3.- Importancia y usos de la especie

La madera de algarrobo es de fácil secado, tiene poco movimiento. Es dura para clavar, presenta alta abrasividad, es permeable a tratamientos de impregnación. Posee buena respuesta al cepillado y posibilidades para faquear y debobinar. Se fabrican especialmente muebles de estilo rústico, pesados y con buen acabado de color oscuro variando su coloración según la especie (Tortorelli, 1956).

Presenta buena resistencia a la flexión. Existen diversos estudios sobre las propiedades físico mecánicas, mostrando gran variación en sus propiedades entre madera proveniente de bosques implantados y nativos. Particularmente los individuos de la especie *Prosopis nigra* son muy atacados por taladros y su uso

maderero se ve seriamente limitado. Los principales usos de la madera son: postes y varillas para la infraestructura ganadera. Rodrigones y varillones para las viñas. Estos productos son de mediana duración, 15 a 20 años. Para carpintería de obra y construcción de marcos, puertas, ventanas, parquets, tirantes, etc. Para carpintería rural: fabricación de mangas, bretes, casillas de operar, construcciones y viviendas rurales, etc. En artesanías es común la elaboración de platos, utensilios, cajas, adornos, etc. Los frutos se utilizan como excelente forraje para ganado y en la fabricación de dulces regionales. Es un combustible de calidad, como leña con 4.600 kcal/kg o para la elaboración de carbón vegetal de 6.500 kcal/kg con una eficiencia de transformación que asegure 4–5 tn de leña para una tn de carbón **(Galera, 2000)**. También, esta especie se usa para elaboración de barriles de vino, hormas de zapatos y parquets **(Tortorelli, 1956)**.

Según **Cisternas (1998)** citado por **Tortorelli (1956)**, en Argentina más del 60% de los muebles de algarrobo son elaborados con madera de *Prosopis alba*.

La madera de *Prosopis nigra* es atacada por *Criodinium angustatum* Bouquet en la plenitud de su desarrollo vegetal, ya sea en ejemplares aislados del monte virgen, como en los que se encuentran en rodales puros de algarrobos. Este daño se manifiesta en el fuste en forma de galerías que se prolongan principalmente en el sentido vertical y algunas desviaciones oblicuas y transversales **(Fiorentino & Medina L. D. de., 1987)**.

El perjuicio causado limita el uso de la madera en carpintería; no es una materia prima buena para carbón, debido a la presencia de galerías que favorecen la combustión, lo que reduce el rendimiento. Presenta una madera adecuada para la elaboración de paneles aglomerados, productos en los cuales se puede aprovechar la densidad media y las propiedades mecánicas, sin que tenga mayor importancia el daño producido en la madera utilizada **(Medina & Martinez, 1988)**.

2.2.4.- Propiedades de la madera de algarrobo

A continuación se presenta la Tabla N° 2 con los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo blanco al 15% de humedad.

Tabla N° 2: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) al 15% de humedad.

Propiedades físicas	Densidad (kg/dm ³)		0,760
	Contracciones %	Radial	1,9
		Tangencial	2,5
		Volumétrica	6,6
Relación T/R		1,3	
Propiedades mecánicas	Flexión (kg/cm ²)	MOR	630
		MOE	60.000
	Compresión axial (kg/cm ²)	MOR	480
		MOE	-
	Dureza (kg/cm ²) normal a las fibras		770

Fuente: MAGyP, 2012.

La Tabla N° 3 presenta los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo negro al 15% de humedad.

Tabla N° 3: Propiedades físicas y mecánicas de la madera de algarrobo negro (*Prosopis nigra*) al 15% de humedad.

Propiedades físicas	Densidad (kg/dm ³)		0,85
	Contracciones %	Radial	2,1
		Tangencial	3
		Volumétrica	6,8
Relación T/R		1,4	
Propiedades mecánicas	Flexión (kg/cm ²)	MOR	940
		MOE	97.100
	Compresión axial (kg/cm ²)	MOR	600
		MOE	-
	Dureza (kg/cm ²) normal a las fibras		880

Fuente: MAGyP, 2012.

2.3.- Residuos

2.3.1.- Definición

Para la **Real Academia Española** la palabra residuo (del latín residuum) significa: material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación. Parte o porción que queda de un todo.

2.3.2.- Residuos de madera, definición.

FAO (2000) define a los residuos de madera como: madera en rollo que queda después de la producción de productos forestales en la industria de elaboración forestal (es decir, residuos de la elaboración forestal) y que no ha sido reducida a astillas o a partículas. Se incluyen los desechos de aserradero, tapas, despuntes, recortes, duramen de trozas para chapas, aserrín, corteza, residuos de carpintería y de ebanistería, etc.

Los residuos de madera son trozos gruesos o finos de madera que quedan sin utilizar después de haber aprovechado las porciones útiles específicas para la elaboración de cada uno de los productos madereros (**Medina, 2012b**).

2.3.3.- Clasificación de los residuos de madera.

Medina (2012b) clasifica a los residuos de madera como:

- Corteza
- Madera
 - *Restos de madera tratada*: desechos de paneles, madera impregnada, madera pintada, etc.
 - *Restos de madera sin tratar*: libres de agentes químicos sintéticos de preservación y tratamiento superficial.
 - *Polvo*: residuos de pequeña dimensión que suelen depositarse en el suelo, paredes y techos. Es el proveniente principalmente del lijado. Fácilmente dispersables en el aire. Altamente respirable por el ser humano. Se recomienda en el manipuleo el uso de máscaras antipolvo.
 - *Aserrín*: residuos generados en el aserrado de dimensión reducida. Medianamente dispersables en el aire. La gran mayoría se deposita en el suelo por acción de la gravedad. Susceptible de ser removido

en el ambiente por corrientes de aire. Medianamente respirables por el hombre.

- *Virutas*: son residuos de pequeña dimensión. No se dispersa en el aire. Susceptible de ser removido sobre la superficie del suelo por corrientes de aire. Los residuos generados en el aserrado, cepilladora, garlopa, tupí, etc.
- *Piezas cortas de forma prismática*: son residuos cuyos lados son aproximadamente de igual dimensión. Son normalmente despuntes de sierra circular, etc.
- *Piezas largas*: residuos con unos de los lados claramente mayor respecto a los otros dos. Rechazos defectuosos de largueros de puertas y ventanas, rechazos de patas de sillas, etc.
- *Costaneras*: piezas laterales del rollo provenientes del aserrado de los mismos. Contienen tanto madera como costanera de largo correspondiente al rollo aserrado.



La **Asociación Española de Recuperadores de Madera (2003)**, señala que los residuos de madera se componen de:

- Recortes de madera
- Astilla
- Serrín
- Viruta
- Envases
- Embalajes
- Muebles

- Puertas
- Tablones
- Ramas
- etc.

Mientras que el **Instituto Galego de Promoción Económica (2013)**, tipifica a los restos de madera como:

- *Recortes*: Se trata de trozos de forma variada y de dimensiones que van desde varios centímetros a más de un metro. Se generan principalmente en el sector de la madera y del mueble.
- *Serrín y viruta*: El serrín es madera en polvo generada en los procesos de transformación y corte. La viruta tiene un tamaño algo mayor.
- *Palets*: El palet de madera es la plataforma horizontal que se emplea como base para el transporte de mercancías y lo genera como residuo toda la industria.
- *Envases de madera*: Pueden ser de tamaño pequeño, como las cajas de fruta o de gran tamaño, como las empleadas para transporte de maquinaria.
- *Muebles, puertas, etc.*: Son, en general, residuos voluminosos y pesados. Los generan los ciudadanos al deshacerse de sus muebles.
- *Restos de construcción y derribo*: En la construcción se utiliza madera para el encofrado, vigas, soportes, puertas y ventanas, etcétera, que suelen ser desechadas tras su primer uso.
- *Restos de poda*: Con las tareas de mantenimiento y cuidado de los árboles, tanto en monte como en los núcleos urbanos, se generan residuos de madera en forma de troncos, ramas y hojas.
- *Bobinas*: Cables y mangueras de grandes canalizaciones son enrollados en bobinas de madera que pasan a ser residuo una vez empleadas.
- *Madera tratada*: Traviesas, postes, etc., que por el tratamiento que han recibido son más difíciles de reciclar.

2.3.4.- Antecedentes y usos de los residuos de madera

“A diferencia de la mayor parte de las otras industrias, las forestales tienen la ventaja de poder utilizar sus residuos para contribuir a cubrir sus necesidades energéticas. En el tratamiento mecánico de la madera, la mayor parte de sus

necesidades de energía térmica pueden atenderse con los residuos disponibles; es más, la industria del aserrío tiene las posibilidades de producir un excedente de calor y electricidad y, por lo tanto, podría ayudar a otros procesos de transformación deficientes de energía en un complejo integrado que produzca, por ejemplo, madera aserrada, tableros contrachapados y de partículas o podría también, en las zonas rurales, suministrar energía para las necesidades del vecindario.” **(FAO, 1991).**

Los residuos de madera tradicionalmente se han considerado como inocuos para el medio ambiente debido a su carácter natural y no peligroso. Los destinos habituales para este tipo de residuo han sido tanto la incineración incontrolada como el depósito en vertedero. De hecho, estos siguen siendo destinos que compiten económicamente con su recuperación y reciclado **(Asociación Española de Recuperadores de Madera, 2003).**

Los residuos que proceden de las industrias forestales tienen normalmente otras salidas posibles, como astillas para la fabricación de pasta, materias primas para la fabricación de tableros de partículas y tableros de fibras, como leña y materiales de construcción para los habitantes del lugar. Todo ello depende de la ubicación del mercado y de la demanda. A continuación se muestra en la Tabla N° 4 varias salidas de estos residuos:

Tabla N° 4: Destinos de los residuos según su fuente de origen.

Fuente	Residuo	Destino
Aserrío	Recortes y costeros	Materiales baratos de construcción, leña y fabricación de pasta.
	Astillas de cantos descortezados	Fabricación de pasta y leña.
Fabricación de madera terciada	Almas de trozas para desenrollar	Fabricación de madera aserrada.
	Astillas de almas	Fabricación de pasta.
	Recortes y astillas de chapas	Leña.
Tableros de partículas	Utiliza todos los residuos antes mencionados como materia prima para la fabricación de tableros, reciclándose la mayoría de sus propios residuos dentro del proceso.	

Fuente: FAO, 1991.

Se deberán tener en cuenta las otras posibles salidas al mercado y el valor de venta de los residuos cuando se lleve a cabo un estudio de viabilidad de una determinada fábrica, para evaluar su disponibilidad como combustible y tener en cuenta su valor de oportunidad en el análisis de los costos de fabricación. Además del empleo de los residuos como fuente potencial de combustible que cubra las necesidades energéticas de la fábrica, su venta directa como bolas o briquetas o como combustible para otros usuarios industriales o compañías productoras de electricidad, se está convirtiendo en un negocio interesante para algunos aserraderos de países desarrollados. En algunos países, el aprovechamiento de los residuos madereros como materia prima para la producción de pasta y papel, y tableros de partículas, se considera tanto para el bienestar económico y social local como nacional más beneficiosa que su empleo como combustible (FAO, 1991).

Poblete (2001) citado por **Santillán et al., (2007)**, menciona que 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, si no se emplea, queda abandonado en los patios de

almacenamiento, ocasionando problemas de contaminación, o es quemado para producir energía.

Las vías de uso tradicionales que se han dado a los residuos forestales pueden resumirse en combustible, elemento de aseo para pisos industriales, en granjas como cama para aves y otros animales de cría y para diferentes productos artesanales o industriales. Principalmente utilizan residuos madereros la industria químico-forestal y la de tableros. La industria químico-forestal utiliza como materia prima astillas y aserrín para producir alcohol, levadura forrajera, furfural (un disolvente que es también precursor del alcohol furfuril, muy utilizado en la industria metalúrgica) y, más recientemente, suplementos alimenticios carbohidratados, minerales y/o proteicos para animales. En la industria de tableros, se utilizan los residuos para hacer tableros de partículas, enlistonados y de fibra de densidad media **(Alvarez Godoy E., 2001)**.

A nivel internacional, Cuba cuenta con reservas forestales crecientes, y con una industria de transformación primaria de la madera con una capacidad de alrededor de 120.000 m³/año, que genera gran cantidad de residuos del bosque y de la industria. Tanto el sector forestal como la industria procesadora tienen proyecciones de expansión a mediano y largo plazo. De acuerdo a estudios efectuados, es viable adaptar las plantas de paneles para el empleo de maderas y residuos de la industria forestal. Las mejores perspectivas se encuentran en la industria de los paneles aglomerados, en la cual, la madera y sus residuos pueden llegar a constituir una solución alternativa a corto y mediano plazo **(Molina Mancebo, 2006)**.

2.4.- Tableros de partículas

2.4.1.- Concepto

FAO (1968) citado por **Carranza (2004)**, define a los tableros de partículas (Particleboard) como a los paneles fabricados con partículas de madera u otros materiales lignocelulósicos, fabricados con un aglutinante orgánico, en unión de uno o más de los siguientes agentes: calor, presión, humedad, catalizador, etc.

Los tableros de partículas son los paneles fabricados mediante la aplicación de presión y calor sobre partículas, previamente encoladas, de madera u otros materiales lignocelulósicos (**Medina, 2012a**).

Tablero de partículas es el término genérico empleado para designar un panel fabricado a base de materiales de lignocelulosa (normalmente madera), fundamentalmente en forma de partículas separadas, distintas de las fibras, combinadas con una resina sintética u otro aglutinante apropiado y unidas mediante el calor y la presión en una prensa caliente en un proceso en el que el aglomerado se forma gracias al aglutinante añadido, y al que pueden haberse agregado otros materiales durante el proceso de fabricación para mejorar determinadas propiedades. Los tableros de partículas se definen además por el método de prensado. Cuando la presión se aplica en sentido perpendicular a las caras, como en la prensa caliente convencional de platos múltiples, se definen como tableros prensados en plano; y cuando la presión se aplica paralelamente a las caras, se definen como extruidos (**Maloney, 1986**).

Mientras que **Emanuelli y Milla (2006)** agrupan bajo el término tableros de partículas a los materiales laminares fabricados a partir de pequeños trozos de madera, como astillas, escamas, hebras o tiras.

2.4.2.- Clasificación de los tableros de partículas

Los tableros de partículas se pueden clasificar por su densidad y sus usos como:

- De baja densidad..... $\delta \leq 400 \text{ kg/cm}^2$
- De densidad media
 - Tableros de partículas convencionales $\delta = 400 \text{ kg/cm}^2$ a 800 kg/cm^2
 - De uso interior
 - De uso exterior
 - Tableros estructurales..... $\delta = 600 \text{ kg/cm}^2$ a 800 kg/cm^2
 - De hojuelas
 - Flakeboards
 - Waferboards

- De partículas o hebras orientadas (OSB)
 - De alta densidad..... $\delta \geq 800 \text{ kg/cm}^2$

(FAO ,1968; Maloney, 1977; Instituto Forestal de Chile ,1987; citados por Carranza 2004).

2.4.3.- Variables que afectan las propiedades de los tableros de partículas

Existe una gran cantidad de variables que afectan a las propiedades de los tableros. Entre ellas las más importantes son: la materia prima utilizada, tipo y cantidad de adhesivo, aditivos, densidad de la madera y del tablero, y la humedad. Todos estos parámetros, a su vez, interactúan entre sí.

2.4.3.1.- Materia prima

La madera es la materia prima más usada en la elaboración de los tableros de partículas y de otros tipos de paneles. La mayor producción de estos tableros se basará, entre otras cosas, en la mayor incorporación de residuos (**Wayne, 1971**).

Según **Wayne (1971)** las principales fuentes de residuos como materia prima para la fabricación de tableros son:

- 1) Residuos y recortes de chapas, de la fabricación de madera contrachapada.
- 2) Costaneros, despuntes y recortes de la producción de madera aserrada.
- 3) Virutas de la garlopa.
- 4) Materiales provenientes de raleo y residuos de tala.
- 5) Aserrín, virutas, y toda la madera de desecho de la producción de carpintería.
- 6) Residuos de la fabricación de muebles.

Es técnicamente posible hacer paneles de partículas a partir de cualquier tipo de material fibroso, de todos los tipos de maderas y de casi todas las formas de partículas. Algunas formas o tipos de madera, sin embargo, no se utilizan debido a que producen un producto cuyo acabado es indeseable desde el punto de vista de la comercialización, son poco prácticos desde un punto de vista de

fabricación, o son antieconómicas desde la manipulación. Esto es particularmente cierto cuando se utilizan los residuos (**Wayne, 1971**).

Kollman (1984) citado por **Santillán et al., (2007)**, indica que 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.

Según **Moslemi (1974)** citado por **Medina (1999)**, el empleo de partículas de madera de especies frondosas solas o en combinación con partículas de coníferas, en la producción de tableros aglomerados, seguirá aumentando debido a razones de disponibilidad y precio.

Medina (1999), menciona que en la medida que el material que compone el colchón de partículas sea más homogéneo, más fácil o sencillo resultará el control de las propiedades finales de los tableros de partículas. Pero por diversas razones de índole económicas, ecológicas, políticas y tecnológicas, puede existir la necesidad del uso de colchones heterogéneos.

2.4.3.2.- Peso específico de la madera

Vital et al., (1974) citado por **Vargas Catalán (2005)**, señala que la densidad de la madera influye en el volumen de material a compactar, en el consumo de adhesivo, en las propiedades de resistencias mecánicas y en el acabado superficial del tablero.

Poblete (2001) citado por **Vargas Catalán (2005)**, dice que el volumen de madera a incorporar en un tablero, para una densidad determinada, varía dependiendo de la densidad de la materia prima.

Para **Poblete (2001)** citado por **Santillán et al., (2007)**, si se desea llegar a una determinada densidad final de tablero usando dos especies de diferente densidad, la especie de menor densidad será comprimida en una proporción mayor que las especies 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 produce una mayor compactación, obteniéndose un mayor contacto entre partículas con un mejoramiento en la eficiencia del adhesivo.

Las propiedades de los tableros elaborados con virutas de diferentes especies dependen, además de la diferencia de densidad de los tipos de madera utilizada, de la forma y dimensiones de las virutas. Esto es, bajo un mismo proceso de producción la forma y dimensión de las virutas resultantes depende del tipo de madera. Así, propiedades intrínsecas tales como densidad, estructura anatómica, tensiones, etc., se combinaran de forma más o menos compleja, para producir virutas de calidades diferentes **Medina (1999)**.

Moslemi (1974) citado por **Santillán et al., (2007)**, señala que para las mismas cantidades de resina aplicada, la disponibilidad de resina por unidad de área de partículas está en función de su área superficial específica, 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.

Un incremento en la densidad de la materia prima genera una disminución de las propiedades mecánicas del tablero y un aumento en la expansión lineal y en el espesor. Los cambios dimensionales son 30 veces mayor en el espesor que en el sentido longitudinal. Al usar materias primas de baja densidad resultan tableros de mayor estabilidad dimensional (**Vital et al., 1974; Niemz y Poblete 1996; Peredo y Lizama, 1993; citados por Vargas Catalán, 2005**).

Poblete (1979) estableció que es posible incluir aserrín en la capa media, en tableros de partículas de distintas densidades y espesores, hasta ciertas proporciones sin mermas importantes en las propiedades físico-mecánicas. La resistencia a la tracción se ve mejorada al aumentar el contenido de aserrín, y la resistencia a la flexión disminuye.

2.4.3.3.- Geometría de las partículas

Ginzel y Peraza (1966) citados por **Poblete (1979)**, mencionan que 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. Esto 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, disminuyéndose el área de contacto entre los gránulos.

El espesor es la dimensión que tiene mayor incidencia en la disponibilidad de adhesivo por unidad de superficie. Cuando menor es el espesor, para un mismo peso de virutas, mayor es la superficie a cubrir con adhesivo (**Medina, 2012a**).

Para **Ginzel, W. et al., (1966)** citado por **Medina & Ambrogi (1994)**, el tipo y forma de la partícula es determinante en cuanto a la calidad del panel a producir. Así la resistencia del aglomerado depende de la propia resistencia de la partícula y de su capacidad para transmitir la misma al panel. La resistencia de la partícula depende fundamentalmente de su peso específico, y su capacidad de transmisión depende del tipo y forma de aplicación de la cola, así como de las características de las partículas. La primera exigencia para las partículas, es que sean planas y estén cortadas paralelamente a la dirección de las fibras que la componen. La relación entre la longitud y el espesor, “coeficiente de esbeltez”, debe estar entre 60 y 120.

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, se notan tendencias dispares en la propiedades físico-mecánicas. La disminución del tamaño de la partícula afecta el comportamiento mecánico, traduciéndose en un incremento de los valores de tracción perpendicular al plano y a una disminución de los de flexión

(Brumbaugh 1960; Kolejack 1960; Klauditz y Büro 1962; Rackwitz 1963; Jenzen y Kehr 1971; citados por Poblete, 1979).

La forma de la partícula afecta la calidad del encolado y así ambos factores afectan a la resistencia mecánica del panel **(Medina, J. C. & Ambrogi, 1994).**

2.4.3.4.- Adhesivos y encolado

La cantidad de resina necesaria por unidad de volumen de tablero depende del tamaño y forma de las partículas. Las partículas pequeñas tienen una mayor superficie por unidad de peso, por lo tanto puede requerir más resina para revestir las partículas con eficacia. La selección de una partícula óptima es muy importante ya que el adhesivo es la materia prima más cara utilizada en la fabricación de tableros de partículas. Aunque sólo del 6% y 10% de él, en términos de peso seco del tablero final, es requerido para lograr uniones satisfactorias. El uso de cantidades excedentes de resina, además de encarecer el proceso, no siempre se traduce en mayor resistencia del tablero. Algunas propiedades, tales como resistencia al agua o la dureza superficial, se puede aumentar, pero no en proporción con el coste de la resina **(Wayne, 1971). Moslemi (1974)** citado por **Santillán et al., (2007)**, agrega que la cantidad de resina empleada en producción de tableros puede variar de acuerdo al tipo de producto, entre 4% y 15%. Sin embargo, al igual que **Wayne (1971)** indica que el porcentaje mayormente empleado se sitúa entre 6% y 9%.

Según **Larmore (1959)** citado por **Vargas Catalán (2005)**, se han hecho estudios que demuestran que la cantidad de adhesivo utilizado afecta la estabilidad dimensional en el espesor. Con un incremento en la cantidad de adhesivo se obtiene un menor cambio dimensional en el espesor del tablero.

La calidad del encolado depende de la cantidad de adhesivo por unidad de superficie de las partículas. La disponibilidad de adhesivo por unidad de superficie de la partícula depende de su espesor y de la densidad de la madera. Para una misma densidad de madera mayor es la disponibilidad de adhesivo cuando mayor es el espesor, y para densidades distintas de madera con igual espesor la

cantidad de adhesivo aumenta cuando mayor es la densidad de la madera (Medina, 2012a).

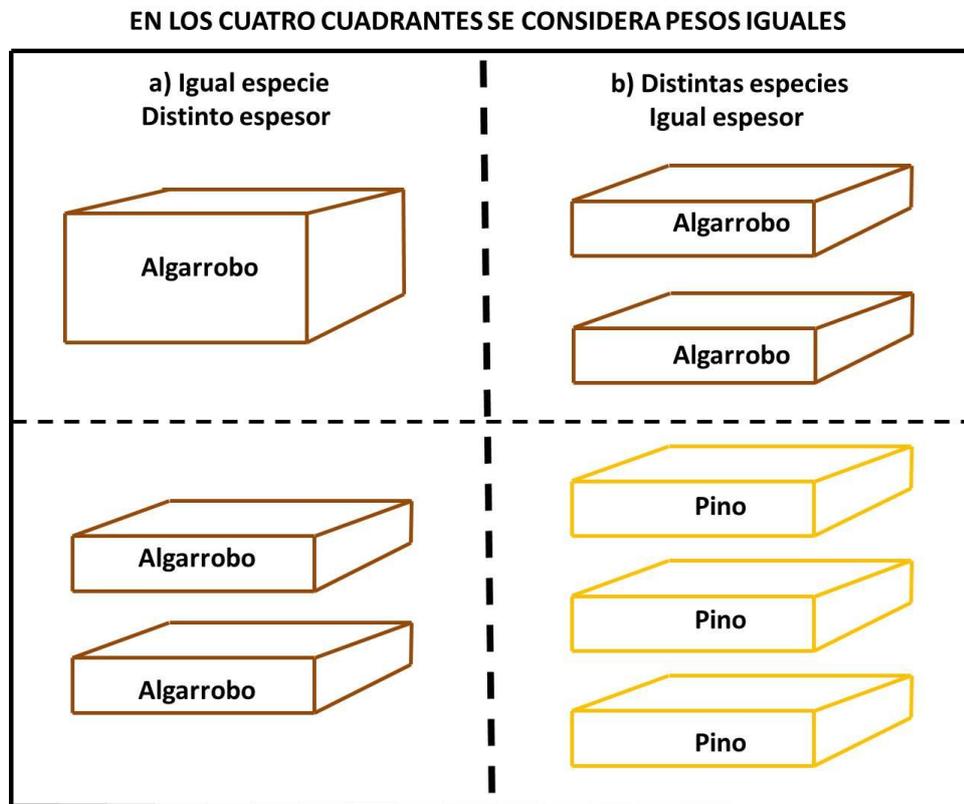


Figura N°2: Relación entre densidad de madera, espesor de la partícula y cantidad de adhesivo. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

En la Figura N° 2 se observa que: a) Para partículas de la misma especie (algarrobo) y distinto espesor, para llegar a un mismo peso se requerirá mayor cantidad de partículas de menor espesor, y mayor será la cantidad de adhesivo necesario para recubrirlas que para aquellas de mayor espesor. b) Para maderas de densidades diferentes (algarrobo y pino) e igual espesor, para llegar a un mismo peso se requerirá mayor cantidad de partículas de menor densidad y mayor será la cantidad de adhesivo necesario para recubrirlas que para aquellas de mayor densidad.

Estudios sobre la calidad del encolado indican que en el plano perpendicular a la superficie (espesor del tablero) los mejores encolados se producen en las partes más externas. En el plano horizontal los mejores

encolados se registran en las zonas más densas (**Song & Ellis, 1997**; citados por **Medina, 1999**).

Las resinas urea-formaldehído son más baratas que las resinas fenólicas y son de color claro, las ureas se utilizan para tableros que están hechos para uso interior donde la exposición a la humedad es mínima. Estas resinas, sin embargo, no suelen ser duraderas bajo una exposición prolongada a altas temperaturas o exposiciones cortas a altas temperaturas en presencia de humedad (**Wayne, 1971**). Se presentan en forma líquida y en polvo. Se les puede agregar endurecedores y cargas para obtener formulaciones que curen a temperaturas de hasta 204°C (**Revista Vetas, 2012**).

Ginzel & Peraza (1966) citados por **Medina (1999)**, indican que las partículas de madera que todavía no estén bien plastificadas tienden a volver a su forma original y esta fuerza es suficiente para romper puentes de cola entre las partículas, si la resina no se ha endurecido lo suficiente.

2.4.3.5.- Formación del colchón

Para fabricar un producto consistente, libre de defectos, y que sea aceptable según las exigencias corrientes del mercado, el fabricante debe tener la habilidad de formar su masa con un peso uniformemente distribuido, esto se traduce en un producto con densidad uniforme.

Las claves para una buena formación de masa son:

- 1) Materia prima uniforme: una excesiva variación en la materia prima (especie, dimensiones, contenido de humedad, etc.) hace dificultosa su homogeneización.
- 2) Densidad de la masa uniforme: la falta de uniformidad en la densidad de la masa lleva a problemas en la distribución del peso.
- 3) Contenido de humedad uniforme: para mantener una correcta proporción de aditivos para la resina y apropiado peso en la masa.

4) Velocidad de línea uniforme: vacilaciones o detenciones en los moldeadores de los aglomerados pueden llevar a tener zonas de altas densidades en todo el ancho de la masa, lo que llevará a obtener paneles con una excesiva variación en la densidad.

Las extremas variaciones en peso en el plano del panel conducen a problemas para mantener la homogeneidad de la resistencia, calidad de la cara y de los bordes, control del espesor, y otras varias características que dependen de la densidad uniforme (**Woodson, 1995**).

2.4.3.6.- Prensado

Poblete (2001) citado por **Santillán et al., (2007)**, indica que el prensado en caliente 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 policondensación. 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. 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 la humedad del manto. La temperatura de la zona central del tablero debe alcanzar a 100°C para que fragüe el adhesivo ureico.

Las presiones de la platina para el prensado de los tableros de partículas dependen de la densidad deseada y el tipo de partícula utilizado (**Wayne, 1971**).

Ginzel & Peraza (1966) citados por **Medina (1999)**, mencionan la conveniencia del rápido calentamiento de las capas más internas para conseguir un buen encolado. La demora del calor en llegar a las capas internas retarda la plastificación de las virutas que lo componen, perjudicándose así el encolado.

2.4.4.- Control de calidad

Las propiedades físicas o mecánicas de los tableros es reflejo de la forma en 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 (**Poblete, 2001**; citado por **Santillán, 2007**).

2.4.4.1- Hinchamiento

La madera tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera. El ensayo de hinchamiento permite tener una idea del comportamiento del tablero al agua (humedad) y el efecto hidrófobo agregado (**Corporación Chilena de la Madera, 2003**; **Ginzel y Peraza, 1966**; citados por **Santillán et al., 2007**).

El hinchamiento de los aglomerados, es dependiente de las condiciones ambientales y de su propia historia. Este último aspecto comprende la influencia de sus componentes (material aglutinado y aglutinante), y de las condiciones durante la compactación (temperatura, tiempo y presión de prensado) (**Medina & Ambrogi, 1994**)

Para tableros de partículas tradicionales, la facilidad de absorción de agua está en función de la relación de compresibilidad del tablero, eficiencia de la resina, facilidad de penetración del fluido (permeabilidad del tablero) por los canales de partículas y capilares de las mismas. Las relaciones de compresibilidad bajas (baja densidad) absorben más agua en comparación con relaciones de alta compresión (alta densidad). La variación de espesor a las 24

horas de inmersión produce resultados que pueden esperarse en relación a que, a mayor densidad del tablero, mayor debería ser la hinchazón (**Durán, 1981; Garay, 1988; Moreno, 2001**; citados por **Garay et al., 2003**)

Según **Vital et al., (1974)**, citado por **Carranza (2004)**, la mayor compactación de las virutas entre sí mejora la adhesión, ofreciendo menores puntos débiles a la acción del agua.

Las partículas de madera al ser comprimidas y confinadas a una determinada forma y volumen, generan tensiones internas que pueden contribuir a tal deformación. Una vez concluida dicha compresión, estas tensiones pugnarán permanentemente por llevar a las partículas a recuperar su estado original. La magnitud de estas tensiones depende fundamentalmente de la densidad de la madera y del grado de compactación de la misma. La capacidad de permanecer en las dimensiones impuestas (estabilidad dimensional) dependerá de la calidad del adhesivo y de la calidad del encolado. El factor externo que por excelencia puede perturbar este equilibrio es la humedad (**Medina, 1999**).

El tipo de madera usada ejerce una notable influencia sobre la hinchazón del tablero (**Moslemi, 1974**; citado por **Medina, 1999**).

Kwon & Geimer (1998) citados por **Medina (1999)**, señalan que durante el prensado las virutas son expuestas a un flujo de vapor de agua, el cual a través del tiempo y el espacio modifica la temperatura y la humedad de las mismas. En estas condiciones se ablanda la madera y se degradan y/o plastifican los polímeros que la componen. La extensión de éste efecto, tanto en el orden cualitativo como cuantitativo, es función de la temperatura y del tiempo de aplicación de la misma. Este proceso conduce a la reducción de los valores de la hinchazón. La hinchazón se reducirá más cuando mayor sea la temperatura y el tiempo de aplicación de la misma.

2.4.4.2- Flexión

La flexión estática es la resistencia del tablero a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, y de ella se determina la tensión de rotura y el

módulo de elasticidad. El ensayo de flexión es un 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 (**Corporación Chilena de la Madera, 2003; Poblete, 2001**; citados por **Santillán et al., 2007**).

Los valores de MOR y MOE se obtienen en el ensayo de flexión estática. El primero nos proporciona la resistencia y el segundo la rigidez del tablero. Estas propiedades son de máxima importancia para los usos estructurales. La rigidez es un indicador de la resistencia del material a la deformación bajo tensión, y se expresa en términos de módulo de elasticidad. Cuando mayor es este, menor es la deformación bajo una determinada tensión (**Medina, 1999**).

Las virutas más largas mejoran los valores de MOE y MOR, y estas ganancias son aún mayores si se aumenta la orientación de las mismas. Mediante el aumento del largo de las virutas se puede reducir la densidad de un tablero y compensar la pérdida de MOE (**Canadido, Saito y Suzuki, 1988**; citados por **Medina, 1999**).

El espesor de las virutas es también otra variable que afecta los valores de MOR y MOE. Espesores menores, especialmente en las capas externas, mejoran los valores de MOR y MOE (**Siempelkamp, 1988; Hsu, 1987**; citados por **Medina, 1999**). Se recomienda que el espesor de las partículas oscile entre 0,45 mm y 0,55 mm (**Medina, 2012a**).

Los valores de MOR y MOE son controlados principalmente por las capas externas de los tableros. Estos valores pueden ser afectados por las características de la capa interna, cuando ésta no reúne un mínimo de resistencia o el encolado es inadecuado. Cuando mayor es la densidad de las capas externas mayor es el MOR. Cualquier factor que realce el perfil de densidad servirá para aumentar el MOR. La densidad de la madera, a partir de la cual se elaboran las virutas, es un factor determinante de la resistencia a la flexión de los tableros. Si se compara tableros de una misma densidad elaborados con distintas maderas

se verá que al aumentar la densidad de la madera disminuyen los valores de flexión, esta diferencia se atribuye al hecho de que los tableros elaborados con partículas de madera liviana presentan un perfil de densidad más demarcado que el correspondiente a los tableros hechos a partir de maderas pesadas (**Chen, Popowitz, Gertjejansen y Ritter, 1992; Plath, 1963; Stegman & Bismark, 1968**; citados por **Medina, 1999**).

Existe una alta correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad, y además esta puede tomar como indicador el valor aproximado que pueda obtenerse en el ensayo de flexión. Al analizarse la resistencia mecánica de los tableros de partículas producidos con mezclas de especies chilenas, también se observó dicha tendencia, ya que se logró determinar que la resistencia a la flexión aumenta con la densidad del tablero (**Rijo, 1988; Poblete, 1987**; citados por **Vargas Catalan, 2005**).

A medida que aumenta la resistencia de los tableros a la flexión por causa de la densidad, aumentan también en cierta medida los valores de MOR y MOE. (**Vargas Catalan, 2005**).

2.4.4.3- Tracción perpendicular

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. Nos da una idea de la calidad del encolado de las partículas y es una de las de mayor importancia (**Poblete, 2001; Ginzel y Peraza, 1966**; citados por **Santillán et al., 2007**).

Para **Ginzel & Peraza (1966)** citados por **Medina (1999)**, el ensayo a la tracción perpendicular es un componente importante del control de calidad de tableros. Es apropiado para el control de calidad de la producción ya que la tracción perpendicular reacciona sensiblemente a las fluctuaciones en las condiciones de producción. Especialmente válido para el control de calidad del encolado.

La tracción perpendicular está correlacionada positivamente con el peso específico. Normalmente la rotura se produce en la capa interna del aglomerado donde generalmente el peso específico es mínimo. De aquí la importancia del perfil de densidad para esta propiedad. Este perfil está definido principalmente por las condiciones de prensado, encolado y las características del colchón (composición cualitativa y cuantitativa, humedad, etc.). Cualquier factor que lleve al aumento de la densidad de la capa externa, por la ley de la conservación de la masa, llevará a una reducción de la densidad de la capa interna. Así como para el MOR es determinante la densidad de la capa externa, para la tracción perpendicular lo es, la densidad de la capa interna (**Medina, 1999**).

Siempelkamp (1988) citado por **Medina (1999)**, señala que para todo tipo de aglomerado los valores de tracción disminuyen al aumentar la longitud de las partículas.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Materiales

3.1.1.- Madera

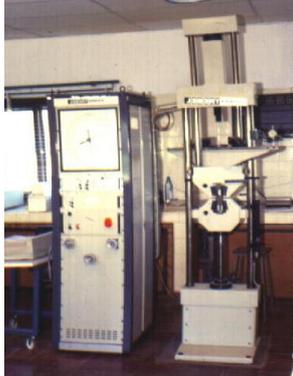
Para la elaboración de los tableros se utilizaron virutas de madera de *Prosopis alba* y *Pinus sp.* Estas virutas corresponden a las clasificadas por **Medina (2012b)**, específicamente las de garlopa y cepilladora. Las virutas de pino fueron compradas en una carpintería local y las de algarrobo fueron obtenidas en la carpintería del Instituto de Tecnología de la Madera.

3.1.2.- Adhesivos

La cola empleada llevó como base una resina de urea-formaldehído, cloruro de amonio como endurecedor y agua. La relación adhesivo a madera seca fue del 10 % en peso.

3.1.3.- Equipos

Los equipos necesarios para efectuar este estudio se muestran en la Figura N° 3:

		
Cepilladora	Garlopa	Zaranda
		
Secadero	Formador	Encoladora
		
Prensa	Máquina de ensayos	Escuadradora c/sierra circular
Figura N°3: Imágenes de los equipos utilizados en la elaboración de los paneles. Fuente: Dr Ing. J. C. Medina.		

3.2.- Método

Se fabricaron en total 15 tableros convencionales de uso interior de una capa, con tres tratamientos de 5 repeticiones cada uno. Los tableros se realizaron con un espesor de 16 mm, con aristas de 54 cm y 55,5 cm, y se consideró una densidad teórica de 700 kg/m^3 . La composición de los paneles que fueron consideradas como tratamientos fue la siguiente:

- 1) 100% de pino;
- 2) 100% de algarrobo;
- 3) 50% de pino + 50% de algarrobo.

3.2.1.- Elaboración de paneles de partículas convencional de uso interior.

Todas las operaciones correspondientes a la elaboración y evaluación de los paneles fueron realizadas en el Instituto de Tecnología de la Madera de la UNSE. En la Figura N° 4 se muestran las etapas que se siguieron para la elaboración de los distintos paneles.

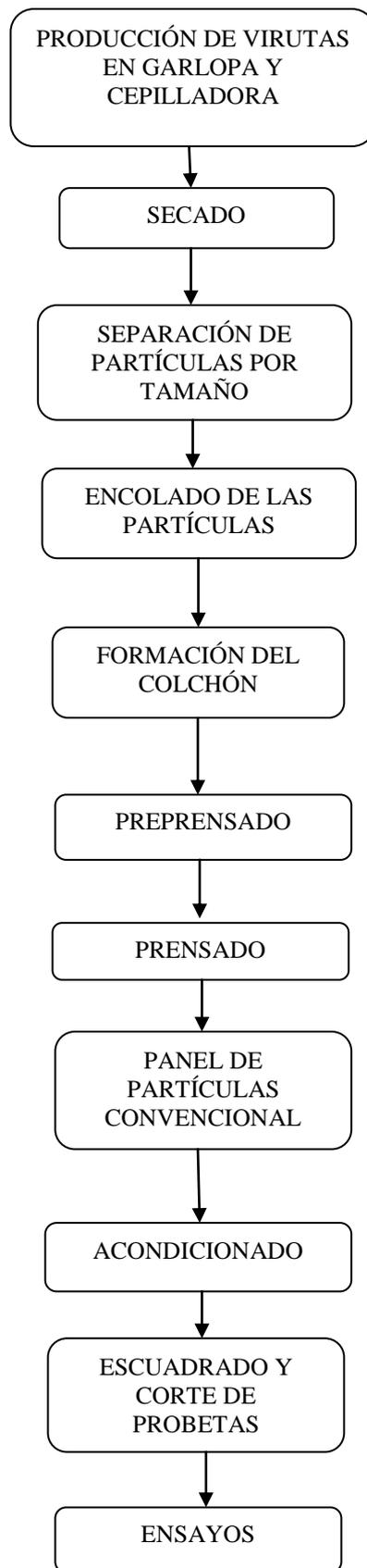


Figura N°4: Diagrama de flujo de elaboración de paneles convencionales de uso interior.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.1.- Producción de virutas en garlopa y cepilladora

Las virutas de madera de *Prosopis alba* fueron obtenidas de las operaciones de garlopeado y cepillado en la carpintería del Instituto de Tecnología de la Madera (Figura N° 5). Mientras que las virutas de *Pinus sp.* fueron compradas en una carpintería local.



3.2.1.2.- Secado de virutas

Las partículas elaboradas se secaron en una estufa marca HEREAUS, modelo TU H 100/150, a una temperatura de 50°C, hasta alcanzar un contenido de humedad final del 10% recomendada para la aplicación del adhesivo a utilizar (Figura N° 6). Luego fueron almacenadas en bolsas de plástico para evitar que absorban humedad del medio.

Durante esta etapa se sacaron muestras, al azar, de 200g para determinar la humedad de las partículas por el método de secado en estufa a 103 °C \pm 2°C hasta peso constante.



Figura N°6: Secadero con virutas de *Pinus sp.*
Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

3.2.1.3.- Separación de partículas por tamaño

Una vez secas las virutas, se realizó la separación del polvo y de las partículas más grandes por medio de una zaranda oscilatoria marca ALLGAIER, modelo AST 600, utilizando 4 tamices con las siguientes luces de malla: 8 x 24 mm; 10 mm; 8 mm y 0,3 mm (Figura N° 7). El objetivo de esta etapa es la asegurar que el adhesivo utilizado sea aprovechado por las partículas de madera del tamaño elegido para la elaboración de los paneles y no por el polvo.

De las partículas obtenidas se separó 2 muestras de 200 unidades cada una, seleccionadas al azar por especie, a las cuales se les midió largo y espesor para determinar el coeficiente de esbeltez. Es importante esta determinación ya que el tamaño de las partículas afecta a la mayoría de las propiedades físico-mecánicas de los tableros y del encolado.



Figura N°7: Separación de virutas mediante zaranda. Fuente: Dr. J. C. Medina.

3.2.1.4.- Encolado de las partículas

El encolado de las partículas se efectuó mediante el método de pulverización y se utilizó para ello una encoladora de tambor rotativo con una capacidad de aproximadamente 0.4 m^3 , fabricada en el Instituto de Tecnología de la Madera (ITM). Esta encoladora contiene en su interior un atomizador con movimiento oscilatorio horizontal. La resina empleada fue a base de urea formaldehído, y la cantidad de cola en relación de peso seco de madera fue del 10%. En la Tabla N° 5 se detalla la composición de la cola y en la Figura N° 8 se puede observar el encolado de las partículas.

Tabla N°5: Composición de la cola.

COMPONENTE	CANTIDAD
Adhesivo	320g
Endurecedor	16g
Agua	160 cm^3

El proceso de encolado total llevó unos 6 minutos (para una carga de 3,2 kilogramos de virutas) y la aplicación del adhesivo duró 1 minuto.



Figura N°8: Encolado de las virutas en encoladora de tambor rotativo.

3.2.1.5.- Formación del colchón

Una vez pesada la cantidad de madera encolada necesaria para la formación de un panel, las partículas encoladas fueron depositadas sobre una chapa de aluminio dentro de un molde de madera con las dimensiones del tablero (54 cm por 55,5 cm). Se formó manualmente el colchón esparciendo las partículas en forma de lluvia (Figura N° 9).



Figura N°9: Formación del colchón de virutas. Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6.- Preensado del colchón de partículas

Para el preensado del colchón de partículas se utilizó la ayuda de un contrapeso a modo de un pistón en la abertura del molde modular, y se aplicó presión manualmente.

El pre-ensado fue conducido a temperatura ambiente, con una presión de 10 Kg/ cm² y por un tiempo de aproximadamente 30 segundos. Esta operación se realiza con la finalidad de compactar el colchón para así evitar su desmoronamiento al retirar el molde y durante su posterior conducción a la prensa. Esta operación se puede apreciar en la Figura N° 10.



Figura N°10: Preensado del colchón de partículas.
Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7.- Prensado del colchón de partículas

El prensado del colchón de partículas se realizó en una prensa hidráulica de platos calientes marca BÚRKLE modelo LA 160, a una temperatura de 100°C y a una presión específica de 30 kg/cm² durante un tiempo total de 16 min. Desde la presión máxima se realizaron 4 escalones de disminución de la misma, para permitir el escape de vapor del tablero de manera gradual y evitar el soplado debido a una salida brusca del vapor (Figura N° 11).

La temperatura está recomendada por el fabricante del adhesivo y el tiempo de prensado fue establecido en ensayos preliminares. En la Tabla N° 6 se presenta el ciclo de prensa.

Tabla N°6: Presión y tiempo de prensado.

Presión (kg/cm ²)	Tiempo (min.)
250	10
150	2
100	2
50	2

Se recurrió a cubrir los tableros con papel durante el prensado, para impedir que el tablero se pegara a las platinas de la prensa.



3.2.1.8.- Acondicionado de los tableros de partículas

Los tableros elaborados fueron depositados durante una semana en una cámara estándar de aproximadamente 20% a 65% de humedad relativa a fin de lograr su estabilización hasta alcanzar su humedad de equilibrio.

3.2.1.9.- Escuadrado y corte de probetas

Una vez estabilizados, los tableros elaborados fueron escuadrados y cortados según la Figura N°12 para la obtención de las probetas con las que se realizaron los ensayos físicos y mecánicos de los paneles.

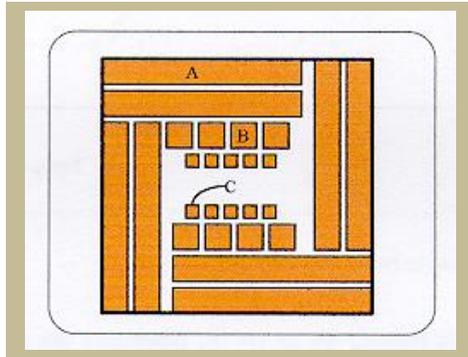


Figura N° 12: Esquema seguido en la extracción de las probetas. A, probeta de Flexión Estática; B, Peso Específico; C, Hinchazón. Fuente: Dr. Ing. J. C. Medina.

Las probetas fueron depositadas en cámara con ambiente climatizado a una temperatura de 20 ° C y una humedad relativa del 65 %, para continuar con su estabilización higrométrica (Figura N°13).



Figura N°13: Probetas para los ensayos físicos y mecánicos. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.- Ensayos físicos y mecánicos

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

- Humedad (DIN 50014) con probetas de 50 mm x 50 mm.
- Peso específico (DIN 52361) con probetas de 50 mm x 50 mm.
- Resistencia a la flexión estática (DIN 52362) con probetas de 50 mm x 370 mm.
- Hinchamiento por 2 y 24 hs. (DIN 52364) con probetas de 25 mm x 25 mm.

Se obtuvieron de cada tipo de panel: cuatro (4) probetas para el ensayo a la flexión, ocho (8) para la determinación de densidad y humedad, y diez (10) para el ensayo de hinchamiento.

3.3.- Análisis estadístico de los datos

El experimento fue organizado con un delineamiento estadístico completamente aleatorizado con tres tratamientos y cinco repeticiones. Se realizó el correspondiente Análisis de Variancia y Comparación de medias a través del Test de Tukey.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Características de la materia prima

4.1.1.- Virutas

4.1.1.1- Dimensiones (Coeficiente de Esbeltez)

La Tabla N° 7 presenta los valores medios del largo y espesor de las virutas de las dos especies, así como el coeficiente de esbeltez calculado.

Tabla N°7: Valores medios del largo y espesor de las virutas de las dos especies y coeficiente de esbeltez calculado.

<i>Especie</i>	<i>Largo (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>C.E.</i>
Algarrobo	11,7	0,27	42,8
Pino	14,94	0,97	15,3

En la Tabla N° 7 se puede percibir la importante diferencia que existe entre los espesores de las virutas de ambas especies siendo las partículas de pino tres veces más gruesas; cosa que no ocurre con las longitudes, donde la viruta de pino resulta apenas un 30 % más larga. En ambos casos los espesores se apartan del ideal que está en torno al 0,5 mm (**Medina, 2012a**). Esta situación era de esperarse y será una constante con el uso de residuos ya que las dimensiones de los residuos dependen en qué proceso productivo se originaron. No resultan semejantes los residuos generados en la carpintería fina que los resultantes de la carpintería de obra, a pesar de que provengan de la misma operación unitaria.

Los valores de coeficiente de esbeltez calculados están por debajo del mínimo de 60 recomendado por la literatura (**Ginzel y Peraza, 1966**). El mejor valor de CE, más próximo a 60, resultó el obtenido para el algarrobo. Estas últimas virutas fueron obtenidas como residuos de carpintería en el Instituto de Tecnología de la Madera, según los procedimientos y técnicas normales seguidas en la fabricación de muebles.

4.1.1.2.- Granulometría de las partículas

El resultado del tamizado de las virutas de ambas especies arrojaron los resultados que se presentan en la Tabla N° 8 y la Figura N° 14.

Tabla N°8: Valores porcentuales de las distintas fracciones obtenidas en el tamizado, incluyendo polvo y rechazos.

<i>Tamiz</i>	<i>Algarrobo (%)</i>	<i>Pino (%)</i>
8 x 24	0	8,2
10	0	16
8	0	10,3
0,3	89,4	64,4
Polvo	10,6	1,1

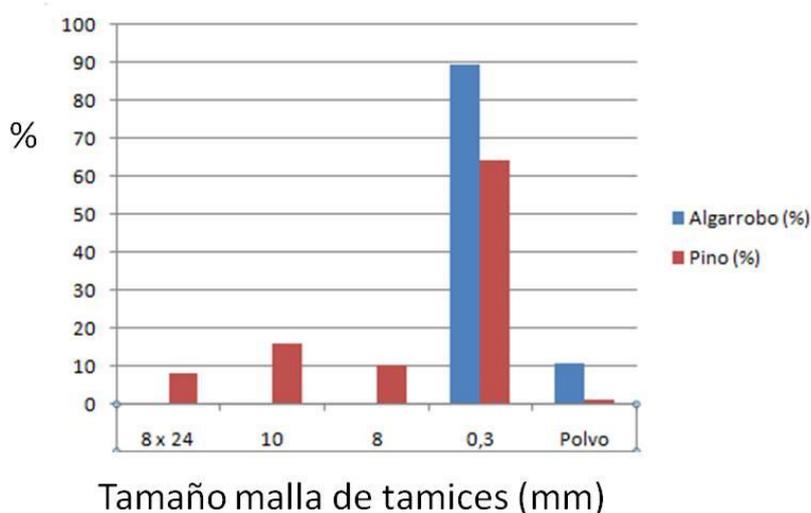


Figura N°14: Histograma en porcentaje de la frecuencia de los tamaños de virutas para ambas especies.

De la Tabla N° 8 se pueden destacar la elevada cantidad de polvo presente en la fracción de algarrobo y la elevada homogeneidad de las partículas que conformaron sólo una fracción útil. Contrariamente la madera de pino presenta virutas más heterogéneas en cuanto a sus dimensiones conformando 4 fracciones, y por otro lado un bajo contenido de polvo.

Considerando que la cantidad de polvo que se genera en el corte de la madera depende de la humedad de la misma, resultando mayor la cantidad de polvo cuando más seca esta la madera (**Medina, 2012a**), y teniendo en cuenta

que la madera de algarrobo fue cepillada seca al aire, mientras que la de pino, fue procesada con una humedad apenas por debajo del punto de saturación de las fibras, la diferencia de contenido de polvo entre las muestras de ambas especies se atribuye principalmente a la diferencia de humedad de éstas al momento de ser cepilladas.

La explicación de la mayor heterogeneidad de las partículas de pino, frente a la del algarrobo, se puede atribuir, por un lado, a la mayor humedad de la madera que provocó un menor número de quebraduras, por otro lado, la mayor longitud de fibra del pino que contribuyó en el mismo sentido, y por último también el mayor espesor de la viruta.

4.2.- Propiedades físicas

4.2.1.- Peso Específico

Los parámetros estadísticos que describen el Peso Específico de los paneles se pueden ver en la Tabla N° 9.

Tabla N°9: Valores medios y coeficiente de variación del peso específico de los tableros aglomerados.

TRATAMIENTO	PESO ESPECÍFICO gr/cm ³	
	Media	C.V.
Algarrobo	0,70	4,12
Mezcla	0,72	8,08
Pino	0,73	5,37

En la Tabla N° 9 se puede destacar que las medias de los tableros elaborados resultaron con valores de Peso Específico próximos al programado para el ensayo (700 kg/m³). Los coeficientes de variación son bajos indicando que se trata de productos bastante homogéneos en términos de esta propiedad.

Dividiendo los valores de Peso Específico de los aglomerados de pino puro y algarrobo puro entre los valores de Peso Específico de sus respectivas maderas sólidas se obtiene el parámetro denominado Relación de Compresión (Tabla N° 10).

Tabla N° 10: Relación de Compresión para los aglomerados puros de algarrobo y pino.

Especie	Peso específico (Kg/m ³)		Relación de Compresión
	Madera Sólida	Aglomerado	
Pino	500	730	1,46
Algarrobo	760	700	1,09

La Relación de Compresión debe ser superior a 1 para que se asegure un mínimo contacto entre partícula y partícula al momento del fraguado de la cola asegurando con ello un buen encolado. Preferentemente debe estar alrededor de 1,3 **(Medina, 2012a)**. Este parámetro es importante para analizar el comportamiento en uso de los aglomerados y debe tenerse en cuenta para interpretar los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del panel **(Kajita, 1987)**.

4.2.2.- Hinchamiento en agua a 2 horas y 24 horas.

Los parámetros estadísticos que describen el Hinchamiento en agua a 2 horas y 24 horas se pueden ver en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Valores medios y coeficiente de variación del hinchamiento en agua a 2 horas y 24 horas de los tableros aglomerados.

TRATAMIENTO	HINCHAMIENTO (%)			
	2 Hs		24 Hs	
	Media	C.V.	Media	C.V.
Algarrobo	4,56	27,97	8,17	26,27
Mezcla	12,00	39,19	15,76	22,78
Pino	19,61	22,70	23,74	20,77
Norma DIN	8		12	

De los valores medios presentados en la Tabla N° 11, tanto para el hinchamiento de 2 horas como para el de 24 horas se puede ver que a medida que mayor es la cantidad de virutas de algarrobo menor es el hinchamiento, lo contrario ocurre con las virutas de pino. Esto es así, a tal punto que sólo los aglomerados de algarrobo puro presentan valores dentro de lo exigido por la Norma DIN 52364 usada como control. Para esta propiedad los valores de Coeficientes de Variación resultaron medianamente altos.

Con la finalidad de ver si estas diferencias son estadísticamente válidas se realizó el Análisis de Variancia para hinchamiento de 2 horas y 24 horas. En la Tabla N° 12 se presenta el resumen de los resultados encontrados en este análisis.

Tabla N° 12: Se presenta el resumen de los Análisis de Variancia efectuados para los resultados de hinchamiento 2 Hs y 24 Hs de los paneles aglomerados.

TRATAMIENTO	HINCHAMIENTO	
	2 Hs	24 Hs
Algarrobo		
Mezcla	*	*
Pino		

Obs. (*) Significativo al 95% de certeza

Como puede verse en la Tabla N° 12 tanto para el caso de Hinchamiento de 2 horas como para el de 24 horas el Análisis de Variancia estableció que existen diferencias significativas entre los tratamientos con una certeza del 95 %.

A los fines de establecer entre qué medias de los tres tableros existen diferencias estadísticas se realizó un test de Tukey para el hinchamiento de 2 horas y 24 horas, cuyos resultados se presentan en la Tabla N° 13 y Tabla N° 14 respectivamente.

Tabla N° 13: Test de Tukey para comparación de medias de hinchamiento de 2 horas.

Tratamiento	Medias	Muestra	E.E	Comparación	
Algarrobo	4,56	50	1,02	A	
Mezcla	12,00	50	1,02		B
Pino	22,98	50	1,02		C

Obs. Alfa: 0,05. - Error: 51,9076 - G.L.:147

Tabla N° 14: Test de Tukey para comparación de medias de hinchamiento de 24 horas.

Tratamiento	Medias	Muestra	E.E	Comparación	
Algarrobo	8,17	50	0,55	A	
Mezcla	15,76	50	0,55		B
Pino	23,74	50	0,55		C

Obs. Alfa: 0,05. - Error: 14,8610 - G.L.:147

Tanto para el Hinchamiento en agua de 2 horas y 24 horas el valor medio del tablero de algarrobo puro resultó numéricamente menor (mejor) al valor medio del tablero mezcla, y a su vez, el del tablero mezcla menor (mejor) al de pino puro. Esto es, estadísticamente el tablero más estable es el de algarrobo puro y el menos estable el de pino puro.

La cantidad de cola disponible por unidad de superficie de la partícula afecta directamente la calidad del encolado, siendo mayor la calidad del encolado cuando mayor es la disponibilidad de cola por unidad de superficie. La disponibilidad de adhesivo por unidad de superficie depende de la densidad de la madera y del espesor de la viruta. Para una misma densidad de madera la disponibilidad de adhesivo es mayor cuando mayor es el espesor de la viruta, mientras que para maderas de distinta densidad y de igual espesor de viruta, la disponibilidad de adhesivo aumenta cuando mayor es la densidad de la madera (**Medina, 2012a**). En el experimento las virutas de pino resultaron más gruesas que las de algarrobo, en este sentido dispusieron de mayor disponibilidad de adhesivo, pero por otro lado, la madera de algarrobo por ser más densa dispuso de mayor cantidad de adhesivo que la del pino. Por lo que, teniendo en cuenta esta compensación, se puede considerar que la cantidad de adhesivo tuvo poca influencia en el hinchamiento para una y otra especie.

Entonces, teniendo en cuenta lo expresado por **Zhou (1990)**, **Kindle (1989)** y **Kajita (1987)**, la explicación del hinchamiento mayor del aglomerado de pino, respecto al aglomerado de algarrobo, se encuentra en el valor mayor de hinchamiento de la madera sólida de pino (11% vs 6,6%) y en el mayor grado de compresión de los aglomerados de pino (1,46 vs 1,09).

De este apartado se puede observar que, en las condiciones que fue conducido el experimento, el único aglomerado que reúne las condiciones exigidas por la Norma DIN, en valores de hinchamiento en agua, fue el de algarrobo puro.

4.3.- Propiedades mecánicas: Flexión Estática

4.3.1.- MOR

Los parámetros estadísticos del MOR correspondientes a la flexión estática se pueden ver en la Tabla N° 15.

Tabla N° 15: Parámetros estadísticos obtenidos en la determinación del MOR.

TRATAMIENTO	MOR (N/mm^2)	
	Media	CV
Algarrobo	5,56	25,80
Mezcla	6,51	29,93
Pino	7,06	30,05
Norma DIN	18	

En la Tabla N° 15 se puede ver que el valor medio de MOR para el tablero de pino puro resulto superior numéricamente al del tablero mezcla, y a su vez, el del tablero mezcla superior al de algarrobo puro. También se aprecia que ninguno de los aglomerados alcanza el valor exigido por la Norma DIN usada de control. Los valores de los Coeficientes de Variación son medianamente altos.

La Tabla N° 16 presenta un resumen del Análisis de Variancia efectuado para los resultados del ensayo de MOR realizado a los paneles aglomerados.

Tabla N° 16: Análisis de la Varianza para los valores de MOR.

TRATAMIENTO	MOR
Algarrobo	
Mezcla	*
Pino	

Obs. (*) Significativo al 95% de certeza

Como se puede ver en la Tabla N° 16 del Análisis de Variancia del MOR se estableció que existen diferencias significativas entre los tres tratamientos con una certeza del 95 %.

A los fines de establecer entre qué medias de MOR de los tres tableros existen diferencias estadísticas se realizó un test de Tukey cuyo resultado se presentan en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Test de Tukey para comparación de medias de MOR.

Tratamiento	Medias	Muestra	E.E	Comparación	
Algarrobo	5,56	20	0,42	A	
Mezcla	6,51	20	0,42	A	B
Pino	7,06	20	0,42		B

Obs. Alfa: 0,05. - Error: 3,4529 - G.L.:57

La comparación de medias de MOR, para ver la diferencia estadística entre las mismas, se realizó a través del test de TUKEY. En virtud de ello se estableció que el aglomerado de pino puro resultó sólo superior estadísticamente al de algarrobo puro. Mientras que entre el aglomerado mezcla (50% de pino y 50% de algarrobo) y el de algarrobo puro no existió diferencia significativa. Con lo cual estadísticamente hablando, el aglomerado de pino puro es mejor que el de algarrobo puro.

Considerando que las condiciones de fabricación fueron constantes y teniendo en cuenta los tipos de maderas empleadas, era de esperar que la madera de pino, por su mayor longitud de fibra y su menor densidad, proporcione valores mayores de resistencia a la rotura por flexión. De por si la madera de pino sólida presenta un MOR superior al del algarrobo, esto es, 710 kg/cm² contra 630 kg/cm² respectivamente (**MAGyP, 2012**). Además, el pino es de menor peso específico que el de algarrobo (500 kg/cm³ vs 760 kg/cm³) hecho que favorece su compactación y por ende mejore su desempeño a la flexión (**Poblete, 1979**).

Según **Contreras et al., (1999)** en la medida que las partículas sean irregulares en formas y tamaños se deben esperar que los tableros aglomerados elaborados a partir de ella resulten con baja resistencia a la flexión. En consonancia con esto las virutas utilizadas en este ensayo son de formas y tamaños variables por lo que esta razón explica, al menos en parte, los valores obtenidos.

4.3.2.- MOE

Los parámetros estadísticos del MOE correspondientes a la flexión estática se pueden ver en la Tabla N° 18.

Tabla N° 18: Parámetros estadísticos obtenidos en la determinación del MOE.		
TRATAMIENTO	MOE (N/mm^2)	
	Media	CV
Algarrobo	6442,90	12,48
Mezcla	4226,67	53,98
Pino	3699,55	31,33
Norma DIN	3400	

Los valores medios de MOE aumentan con el aumento de la cantidad de virutas de algarrobo; esto es, los aglomerados de algarrobo puro resultaron más rígidos que los aglomerados mezcla, y a su vez éstos, más rígidos que los de pino puro. Este resultado es totalmente contrario a lo ocurrido con el MOR, donde los de pino resultaron mejores a los de mezcla, y a su vez éstos mejores que los de algarrobo puro. En términos de MOE todos los aglomerados superan el mínimo exigido por la Norma DIN 52362; esto es, otra diferencia importante con el MOR, ya que ningún tablero alcanzó valores de MOR exigido por la misma Norma.

La Tabla N° 19 presenta un resumen del Análisis de Variancia efectuado para los resultados del ensayo de MOE realizado a los paneles aglomerados.

Tabla N° 19: Análisis de la Varianza para los valores de MOE.

TRATAMIENTO	MOE
Algarrobo	
Mezcla	*
Pino	

Obs. (*) Significativo al 95% de certeza

Como se puede ver en la Tabla N° 19 del Análisis de Variancia del MOE se estableció que existen diferencias significativas entre los tres tratamientos con una certeza del 95 %.

A los fines de establecer entre qué valores de medias de MOE existen diferencias estadísticas se realizó un test de Tukey cuyo resultado se presentan en la Tabla N° 20.

Tabla N° 20: Test de Tukey para comparación de medias de MOE.

Tratamiento	Medias	Muestra	E.E	Comparación
Algarrobo	6442,90	20	346,31	B
Mezcla	4226,67	20	346,31	A
Pino	3699,55	20	346,31	A

Obs. Alfa: 0,05. - Error: 2328673,2143 - G.L.:57

En la Tabla N° 20 se puede ver que el aglomerado de algarrobo puro resultó superior estadísticamente al de pino puro y al de mezcla. Mientras que entre el aglomerado mezcla (50% de pino y 50% de algarrobo) y el de pino puro no existió diferencia significativa. Con lo cual estadísticamente hablando se puede afirmar que el MOE del aglomerado de algarrobo puro es mejor que el de los restantes aglomerados.

De acuerdo con la literatura la mayoría de las variables que contribuyen a la mejora del MOR también mejora los valores de MOE, siendo que en el caso en estudio no ocurrió así.

Teniendo en cuenta que en la composición del aglomerado intervienen básicamente la madera y el adhesivo, las propiedades de estos materiales tendrán influencia sobre la fragilidad de los paneles. Como ya sabemos la fragilidad del adhesivo es mayor que la de la madera. La cantidad y forma de distribución depende en gran medida del espesor de las virutas.

El espesor medio de las virutas de pino resultan 3,59 veces mayor que el espesor medio de las virutas de algarrobo. Si consideramos que esta diferencia es sólo de 3 veces para compensar el efecto de la mayor compactación del aglomerado de pino, tendremos que, en el plano perpendicular a la superficie del mismo, por cada 2 líneas de cola en el aglomerado de pino se tendrán 4 líneas de cola en el aglomerado de algarrobo. Esto hace que el aglomerado de algarrobo tenga más líneas de fragilidad que el aglomerado de pino, y pudo ser el factor que influyó en el mayor MOE.

Ambas virutas presentaron valores de espesor distantes del valor recomendado que oscila entre 0,45 mm y 0,55 mm. O sea que el espesor del algarrobo resultó demasiado bajo y el de pino demasiado alto.

De esta experiencia se puede ver que en el mercado las de virutas de garlopa y cepilladora presentan una alta variabilidad tanto en forma como en dimensiones. Esta variabilidad depende indirectamente del tipo de producto que se elabora y directamente el mercado al que se destine el residuo. Los propietarios de establecimientos maderos están dispuestos a ajustar las dimensiones de las virutas frente a la demanda de los consumidores.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La baja calidad de los aglomerados obtenidos era de esperarse, ya que se usó partículas de madera que resultan como residuos de carpinterías en la elaboración de diferentes productos con partículas bien diferenciadas. Sin embargo se alcanzó el objetivo específico de este estudio inicial que era de reconocer cuales son las características de los residuos de carpintería que impiden su aplicación directa en el uso como materia prima para aglomerados. Insumo necesario para continuar con estudios que logren superar las dificultades y se llegue por fin a proponer la manera tecnológica de tratar los residuos para lograr su incorporación a la producción de aglomerados convencionales.

5.1.- Virutas

Las virutas de una y otra especie resultaron muy diferentes en forma y dimensiones. En ninguna de las especies se alcanzó el mínimo recomendado de coeficiente de esbeltez. Esta falta de uniformidad y su desvío de los valores recomendados indica que es necesario trabajar en sus dimensiones tratando de ajustarlas a los requerimientos de los aglomerados y tratarlas en el molino para homogeneizar las mezclas.

5.2.- Hinchamiento en agua

Respecto al hinchamiento de los aglomerados de algarrobo fueron los únicos que en las 2 y 24 hs de inmersión en agua resultaron acordes a lo exigido por la Norma DIN. Ningún otro tablero resulto apto.

Para mejorar esta propiedad y permitir que los otros aglomerados se ajusten a lo exigido por Norma, hay que trabajar en la mejora de la calidad y uniformidad de las virutas. La reducción del espesor de la viruta de pino contribuirá notablemente a disminuir el hinchamiento de los aglomerados de pino y los obtenidos a partir de la mezcla de ambos tipos de virutas. También será conveniente aumentar el espesor de las virutas de algarrobo.

Cabe destacar que los valores de hinchamiento pueden reducirse por el agregado de un hidrófugo en la formulación adhesiva, como es la emulsión de parafina, elemento que corrientemente lo emplea la industria de aglomerado. Se decidió no agregar esta emulsión por tratarse de un estudio de base para estudios posteriores. Además para visualizar mejor las diferencias entre los tratamientos como lo sugiere **Berterreche, et al. (1995)**.

5.3.- Flexión estática

Los resultados del ensayo a la flexión estática demostraron que en relación a la resistencia a la rotura (MOR) ningún tablero alcanzó lo requerido por la Norma DIN. A los fines de mejorar esta propiedad en ensayos futuros, se deberían realizar una selección más precisa y/o trabajar en la reducción/homogeneización de las mismas mediante un molinado.

Si bien en términos de Módulo de Elasticidad (MOE) todos los tableros resultaron ser superiores a lo exigido por Norma DIN, estos resultados no son suficientes si no se obtienen paralelamente valores aptos de MOR.

Teniendo en cuenta las características de las partículas usadas, esta propiedad es la que más posibilidades tiene de mejorarse ya que fueron varios los factores que la afectaron; esto es, con modificar algunos ya se logrará un cambio importante. Sobre este aspecto hay que trabajar tratando de reducir la diferencia de espesores entre ambas especies a los fines de mejorar las propiedades de los futuros paneles aglomerados de residuos.

La heterogeneidad en el largo de las partículas se corrige con el paso de los residuos por el molino. Al igual que para la disminución del hinchamiento de los aglomerados, donde participa el pino, aquí también se debe reducir el espesor de la viruta de pino y aumentar el espesor de la viruta de algarrobo. Se debe aumentar el Coeficiente de esbeltez que viene de la mano con la modificación anterior.

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Española de Recuperadores de Madera. 2003. Recuperación de residuos de madera. VI Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España. Página web: <http://www.conama.es/viconama/ct/pdfs/Resumenct94.pdf> disponible el día 03 de noviembre de 2013.
- Alvarez Godoy, E.; Aguirre, D. S.; Díaz, A. M. 2001. Utilización racional de los residuos forestales, Centro de Estudios de Biomasa Forestal, Universidad de Pinar del Río, Cuba. Revista Unasyuva 206, Convenios mundiales sobre los bosques. Vol. 52- 2001/3.
- ANFTA. 2002. Restos de madera: demasiado valiosos para ser quemados. Asociación Nacional de Fabricantes de Tablero. pp. 36
- Berterreche, A; Poblete, H.; Niemz, P. 1995. Propiedades de tableros de partículas de *Pinus radiata* D.Don con aserrón de la misma especie. Instituto Forestal (INFOR). Ciencia e Investigación Forestal. Chile. 9(1), 73-90.
- Carranza, M. E. 2004. *Geoffroea decorticans* (Gill. ex H. et A.). Burk. "Chañar". Propiedades y utilización de su madera en la elaboración de tableros aglomerados convencionales de uso exterior y de virutas orientadas (OSB). Trabajo final. FCF-UNSE. Santiago del Estero, Argentina. Pp.143.
- Celano, J. A.; Jacobo, G. J.; Pereyra, O. 2006. Desarrollo de paneles termoacústicos a base de residuos de madera para el mercado de la construcción. Resumen T-080. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE.
- Contreras, W. M.; Owen, M. E.; Garay J., D. A.; Contreras, Y. M. 1999. Elaboración de tableros aglomerados de partículas de caña brava (*Gynerium sagittatum*) y adhesivo de urea-formaldehído. Rev. Bosque 43 (2), 129-135.
- Diccionario de la Lengua Española (DRAE). 2001. Página web: <http://www.rae.es> disponible el día 23 de octubre de 2013.

- Emanuelli, A. P. y Milla, A. F. 2006. Alternativas de productos madereros del bosque nativo chileno. pp. 68.

- FAO. 1991. Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales. Capítulo 6, aprovechamiento potencial de los residuos de madera para la producción de energía. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Página web: <http://www.fao.org/docrep/t0269s/t0269S10.htm#b> disponible el día 13 de noviembre de 2013.

- FAO. 2000. Anuario de productos forestales 1998. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

- Farjon, A.; Perez de La Rosa, J. A. & Styles, B. T. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. Royal Botanic Garden & Universidad de Oxford. pp. 1-5.

- Fiorentino, D.C. & Medina, L. D. de. 1987. Biología de *Criodius angustatus* Buquet (Coleoptera cerambycidae), plaga del algarrobo negro. Primer Congreso argentino de Entomología. Tucumán, Argentina.

- Galera, M. F. 2000. Los algarrobos. El género prosopis (algarrobos) en américa latina y el caribe con especial énfasis en aquellas de interés económico. Página web: <http://www.fao.org/docrep/006/ad314s/AD314S00.htm#TOC> disponible el día 10 de septiembre de 2013.

- Garay, J.; Durán, P.; Moreno, P.; Pérez, B.; Castillo, M. 2003. Elaboración de tableros aglomerados de partículas orientadas (OSB) con urea formaldeído, a partir de la especie *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. Rev. Forestal Latinoamericana 18 (2), 1-16.

- Instituto Galego de Promoción Económica. 2013. Gestión de residuos de la madera. Página web: http://www.bicgalicia.es/procedimientos/pdf/A-VII-01-a-1_Xesti%C3%B3n_de_residuos_da_madeira.pdf disponible el día 4 de septiembre de 2013.

- Kajita, Hirumo. 1987. Oriented particleboard with Sugi thinnings (*Cryptomeria japonica*) I. *Mokuzai Gakkaishi*. Japon 1987. 33 (11), 865-871.
- Kindle, Ch. 1989. Herstellung von Spanplatten aus Quebracho Blanco und Pinus Taeda. Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplom - Holzwirt. Universität Hamburg. Deutschland. 123 páginas.
- Maloney, T. M. 1986. Desarrollo de la industria de tableros de partículas en China. *Revista Unasyuva*, 38 (151). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Página web: <http://www.fao.org/docrep/r6560s/r6560s00.htm#Contents> Disponible el 23 de marzo de 2013.
- Medina, J. C.; Martínez, R.H. 1988. Elaboración de paneles aglomerados con madera de *Prosopis nigra Hieron*, algarrobo negro, atacada por *Criodinium angustatum* Bouquet. Publicado en extenso en las actas del Sexto Congreso Forestal Argentino; Santiago del Estero, Argentina.
- Medina, J. C. & Ambrogi, A. 1994. Cáscara de maní en la elaboración de aglomerados. *Rev. Quebracho* (2), 47-53.
- Medina, J.C. 1999. Paneles de virutas orientadas (OSB) elaborados a partir de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht y *Pinus taeda* L. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Medina, J.C. 2012a. Guía de estudio cátedra Industrias Mecánicas de la Madera II. Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, FCF-UNSE. Santiago del Estero, Argentina.
- Medina, J.C.; Ruiz, A.P.; Carranza, M.E. α Hoyos, G. 2012b. Uso de los residuos de carpintería. Santiago del Estero, Argentina.
- MAGyP. 2012. Dirección de Producción Forestal, Subsecretaria de Agricultura, Secretaria de Agricultura Ganadería y Pesca, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Buenos Aires, Argentina. Página web: www.minagri.gob.ar disponible el día 12 de julio de 2012.

- MAGyP. 2011. Publicación: Industrias Forestales. Dirección de Producción Forestal, Subsecretaría de Agricultura, Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Buenos Aires, Argentina. Pp. 13 y 17.
- Molina Mancebo, R. S. 2006. Bagazo de caña de azúcar para la producción de celulosa y paneles aglomerados: realidad y perspectivas. Unión de Investigación--
- Producción de la Celulosa del Bagazo “Cuba-9”, Central “Pablo Noriega”, Quivicán, Provincia Habana, Cuba.
- Normas DIN. 1982. Normen über Holz. Deutsches Institut für Normung e.v. Beuth – Vertrieb GMBH. Berlin, Köln, Frankfurt, Alemania.
- Poblete, H. 1979. Inclusión de aserrín en tableros de partículas. Rev. Bosque 3 (1), 39-46.
- Revista Vetas. 1995. 15(157), 46-50. Editorial Vetas SRL. Latinoamérica. Buenos Aires, Argentina.
- Revista Vetas. 2012. 32(364), 14. Editorial Vetas SRL. Latinoamérica. Buenos Aires, Argentina.
- Rosas Ávila, J. C. 2008. Ecogeografía del género *Pinus* (Linnaeus, 1753) en la subcuenca Tecuantepec – Apulco, México. pp. 9-10.
- Santillán, T.; Canchucaja, J. 2007. Influencia de la densidad de la madera en la calidad de tableros de partículas homogéneos. Revista Forestal del Perú, (1-2), 61-79.
- Tortorelli, L. A., 1956. Maderas y bosques argentinos. Segunda edición 2009. Tomo II. pp. 1021-1025. Buenos Aires, Argentina. Editorial Orientaciones Gráficas.
- Umlandt, C. M. (2013). Determinación de la calidad de tableros aglomerados elaborados con partículas de *Eucalyptus tereticornis* SMITH. Trabajo final de

grado (inédito). Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. Pp. 64.

- Vargas Catalan, R. F. 2005. Efecto de la densidad sobre las propiedades físico-mecánicas de tableros de fibra HDF. Valdivia, Chile.

- Waney C. L. 1971. United States Department of Agriculture (U. S. D. A.). Forest Service Research Note. FPL-045. Madison, Wisconsin.

- Woodson, G. 1995. Revista Vetas, 15(157), 42-45. Editorial Vetas SRL. Latinoamérica. Buenos Aires, Argentina.

- Zhou, D. 1990. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. Holz als Roh-und Werkstoff. Germany. Volumen 48 p. 293:296.

7.- ANEXO

ANEXO 1: Medición de las virtudes.

Virutas de algarrobo: coeficiente de esbeltez.

Promedio de los espesores "e"	0,27
Promedio de los largos "l"	11,67
Coficiente de Esbeltez "C.E."	42,8

Virutas	Dimensiones	
	Largo	Espesor
1	12,00	0,22
2	11,00	0,23
3	12,00	0,18
4	8,00	0,25
5	11,00	0,36
6	13,00	0,32
7	11,00	0,23
8	12,00	0,27
9	12,00	0,25
10	10,00	0,27
11	9,00	0,18
12	12,00	0,21
13	12,00	0,22
14	11,00	0,28
15	12,00	0,21
16	13,00	0,22
17	10,00	0,30
18	12,00	0,17
19	11,00	0,24
20	10,00	0,23
21	12,00	0,26
22	12,00	0,36
23	12,00	0,25
24	11,00	0,34
25	11,00	0,21
26	13,00	0,23
27	11,00	0,20
28	11,00	0,20
29	13,00	0,20
30	14,00	0,26
31	15,00	0,30
32	14,00	0,21
33	12,00	0,35
34	12,00	0,24
35	15,00	0,95
36	12,00	0,25
37	10,00	0,19
38	14,00	0,20
39	14,00	0,23
40	15,00	0,47
41	12,00	0,34
42	11,00	0,22
43	13,00	0,24
44	8,00	0,22
45	12,00	0,24
46	13,00	0,25
47	13,00	0,37
48	10,00	0,42
49	16,00	0,20
50	12,00	0,22
Promedio	11,94	0,27

Virutas	Dimensiones	
	Largo	Espesor
51	13,00	0,30
52	10,00	0,22
53	12,00	0,27
54	8,00	0,25
55	10,00	0,28
56	12,00	0,27
57	12,00	0,28
58	12,00	0,22
59	10,00	0,28
60	13,00	0,25
61	12,00	0,40
62	13,00	0,24
63	10,00	0,39
64	13,00	0,20
65	9,00	0,23
66	13,00	0,25
67	12,00	0,22
68	13,00	0,29
69	9,00	0,28
70	10,00	0,25
71	11,00	0,27
72	12,00	0,24
73	12,00	0,18
74	11,00	0,23
75	9,00	0,24
76	12,00	0,28
77	12,00	0,36
78	10,00	0,24
79	13,00	0,20
80	11,00	0,34
81	11,00	0,25
82	10,00	0,28
83	9,00	0,22
84	11,00	0,34
85	11,00	0,24
86	12,00	0,37
87	10,00	0,43
88	13,00	0,20
89	11,00	0,25
90	11,00	0,14
91	13,00	0,20
92	15,00	0,22
93	14,00	0,24
94	13,00	0,49
95	11,00	0,35
96	10,00	0,27
97	10,00	0,32
98	12,00	0,40
99	12,00	0,34
100	12,00	0,33
Promedio	11,40	0,28

Virutas de pino: coeficiente de esbeltez.

Virutas Grandes de Pino			
Virutas	Dimensiones		
	Largo	Espesor	
		e ₁	e ₂
1	18,00	0,78	0,77
2	13,00	0,50	0,50
3	14,00	0,65	0,77
4	11,00	1,27	0,69
5	11,00	0,72	0,68
6	14,00	0,50	0,51
7	12,00	0,60	0,41
8	17,00	0,60	0,63
9	18,00	0,72	0,46
10	17,00	0,55	0,58
11	15,00	0,58	0,49
12	15,00	0,55	0,53
13	18,00	0,61	0,59
14	10,00	1,95	1,30
15	17,00	0,47	0,97
16	19,00	0,65	0,58
17	16,00	0,67	0,70
18	14,00	0,60	0,45
19	20,00	0,19	0,33
20	15,00	0,58	0,49
21	16,00	0,24	0,18
22	11,00	0,70	0,43
23	15,00	0,83	0,50
24	19,00	1,77	1,35
25	14,00	0,15	0,19
26	15,00	0,20	0,32
27	16,00	0,51	1,20
28	16,00	0,23	0,80
29	18,00	0,35	0,36
30	17,00	0,29	1,74
31	15,00	0,58	0,32
32	18,00	0,18	0,82
33	18,00	0,49	0,63
34	6,00	0,54	0,18
35	15,00	0,55	0,84
36	15,00	0,57	0,49
37	13,00	0,66	0,19
38	13,00	0,24	0,79
39	16,00	0,49	0,54
40	14,00	0,20	0,24
41	11,00	0,64	0,44
42	14,00	0,68	0,18
43	14,00	0,78	0,13
44	10,00	0,21	0,47
45	20,00	0,86	0,35
46	13,00	0,81	0,81
47	11,00	0,48	0,34
48	11,00	0,19	0,35
49	17,00	0,23	0,31
50	15,00	0,44	0,48
Promedio	14,80	0,58	0,57

Virutas Chicas de Pino		
Virutas	Dimensiones	
	Largo	Espesor
2	15,00	1,35
3	14,00	36
4	8,00	0,90
5	15,00	1,07
6	20,00	0,24
7	15,00	0,60
8	17,00	1,40
9	16,00	0,57
10	18,00	0,49
11	16,00	0,38
12	11,00	0,25
13	12,00	0,48
14	15,00	0,47
15	9,00	0,52
16	12,00	1,17
17	16,00	1,25
18	19,00	0,48
19	15,00	0,59
20	22,00	0,63
21	7,00	0,58
22	18,00	0,55
23	15,00	0,38
24	16,00	0,57
25	18,00	0,28
26	16,00	1,22
27	15,00	0,65
28	20,00	0,29
29	15,00	1,17
30	10,00	0,55
31	10,00	1,33
32	6,00	0,39
33	13,00	0,45
34	15,00	0,27
35	20,00	0,55
36	17,00	0,80
37	21,00	0,48
38	15,00	0,48
39	16,00	0,36
40	12,00	0,66
41	14,00	1,21
42	15,00	0,76
43	17,00	1,55
44	20,00	0,30
45	18,00	0,72
46	13,00	0,46
47	19,00	0,27
48	17,00	1,15
49	12,00	0,90
50	14,00	0,40
Promedio	15,08	1,38

Promedio de los espesores "e"	0,97
Promedio de los largos "l"	14,94
Coeficiente de Esbeltez "C.E."	15,3

ANEXO 2: Características y composición de los paneles.

Características de los Paneles							
Tablero	Especie	Peso de Virutas (g)	Peso a la Salida de la Encoladora (g)	Peso Final del Panel Recién Formado (g)	Peso Final del Panel Acondicionado (g)	Volumen del Panel (cc)	Peso Específico (g/cc)
1	Pino	3.200,00	3.565,00	3.399,70	3.322,50	4.795,20	0,693
2	Pino	3.200,00	3.150,00	3.072,70	3.113,50	4.795,20	0,649
3	Pino	3.200,00	3.401,50	3.309,40	3.300,30	4.795,20	0,688
4	Pino	3.200,00	3.302,30	3.197,50	3.197,00	4.795,20	0,667
5	Pino	3.200,00	3.440,60	3.349,70	3.328,90	4.795,20	0,694
6	Algarrobo	3.200,00	3.309,70	3.185,10	3.183,60	4.795,20	0,664
7	Algarrobo	3.200,00	3.381,00	3.291,00	3.284,80	4.795,20	0,685
8	Algarrobo	3.200,00	3.360,00	3.248,40	3.247,00	4.795,20	0,677
9	Algarrobo	3.200,00	3.450,00	3.319,40	3.322,40	4.795,20	0,693
10	Algarrobo	3.200,00	3.310,00	3.198,10	3.214,80	4.795,20	0,670
11	Mezcla	3.200,00	3.410,00	3.322,60	3.321,70	4.795,20	0,693
12	Mezcla	3.200,00	3.450,00	3.326,10	3.327,90	4.795,20	0,694
13	Mezcla	3.200,00	3.470,00	3.343,40	3.346,50	4.795,20	0,698
14	Mezcla	3.200,00	3.480,00	3.274,00	3.280,00	4.795,20	0,684
15	Mezcla	3.200,00	3.400,00	3.297,80	3.305,00	4.795,20	0,689

Composición de los Paneles		
Material	Cantidad	Unidad
Virutas	3.200,00	g
Resina	320,00	g
Catalizador	16,00	g
Agua	160,00	cc

ANEXO 3: Propiedades físicas

Hinchamiento en agua fría por 2 horas

Hinchamiento por 2 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
	1	15,95	16,61	3,97
	2	15,90	16,51	3,69
	3	15,95	16,55	3,63
	4	15,82	16,61	4,76
	5	16,06	16,66	3,60
	6	15,98	16,62	3,85
	7	15,94	16,55	3,69
	8	15,84	16,52	4,12
	9	16,01	16,65	3,84
	10	15,41	16,58	7,06
	11	16,07	16,69	3,71
	12	15,99	16,62	3,79
	13	15,85	16,62	4,63
	14	16,05	16,67	3,72
	15	16,09	16,74	3,88
	16	16,08	16,75	4,00
	17	15,87	16,45	3,53
	18	15,83	16,63	4,81
	19	15,88	16,52	3,87
	20	15,96	16,59	3,80
	21	16,05	16,69	3,83
	22	15,88	16,47	3,58
	23	15,84	16,60	4,58
	24	15,90	16,46	3,40
Algarrobo	25	15,94	16,58	3,86
	26	15,80	16,59	4,76
	27	15,70	16,35	3,98
	28	15,14	16,78	9,77
	29	15,17	16,32	7,05
	30	15,84	16,59	4,52
	31	15,84	16,68	5,04
	32	15,82	16,48	4,00
	33	15,88	16,69	4,85
	34	15,73	16,49	4,61
	35	16,08	16,69	3,65
	36	15,90	16,71	4,85
	37	15,76	16,41	3,96
	38	16,12	17,28	6,71
	39	15,82	16,53	4,30
	40	16,05	16,68	3,78
	41	16,09	17,30	6,99
	42	16,20	17,38	6,79
	43	15,82	16,52	4,24
	44	15,85	16,63	4,69
	45	15,87	16,54	4,05
	46	15,85	16,74	5,32
	47	15,99	17,21	7,09
	48	15,72	16,41	4,20
	49	16,05	16,64	3,55
	50	15,79	16,49	4,24

Hinchamiento por 2 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
Pino	1	15,98	30,19	47,07
	2	16,00	31,77	49,64
	3	16,59	19,03	12,82
	4	16,28	19,38	16,00
	5	16,35	19,51	16,20
	6	16,21	31,53	48,59
	7	15,66	19,61	20,14
	8	15,63	19,63	20,38
	9	15,63	19,31	19,06
	10	16,65	19,56	14,88
	11	16,61	19,65	15,47
	12	16,62	19,62	15,29
	13	16,21	19,23	15,70
	14	15,68	19,6	20,00
	15	16,18	19,07	15,15
	16	16,24	19,13	15,11
	17	16,22	19,26	15,78
	18	16,55	19,66	15,82
	19	15,70	19,58	19,82
	20	16,24	31,48	48,41
	21	16,14	19,47	17,10
	22	16,08	19,09	15,77
	23	15,98	19,30	17,20
	24	15,82	19,11	17,22
	25	15,96	20,36	21,61
	26	15,73	19,17	17,94
	27	15,95	19,76	19,28
	28	15,92	19,23	17,21
	29	15,80	19,62	19,47
	30	15,78	19,67	19,78
	31	16,04	30,9	48,09
	32	16,20	31,22	48,11
	33	15,85	19,34	18,05
	34	15,78	19,38	18,58
	35	15,76	19,41	18,80
	36	15,78	19,45	18,87
	37	15,61	19,81	21,20
	38	16,26	18,54	12,30
	39	15,97	19,50	18,10
	40	15,95	19,94	20,01
	41	16,01	30,06	46,74
	42	15,98	19,49	18,01
	43	15,71	19,76	20,50
	44	16,07	29,45	45,43
	45	16,62	19,02	12,62
	46	15,61	19,65	20,56
	47	16,05	32,50	50,62
	48	16,58	18,79	11,76
	49	15,77	19,46	18,96
	50	15,77	19,17	17,74

Hinchamiento por 2 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
Mezcla	1	15,86	17,55	9,63
	2	15,76	18,56	15,09
	3	15,87	17,48	9,21
	4	16,17	18,56	12,88
	5	15,89	18,03	11,87
	6	15,85	18,36	13,67
	7	15,73	18,47	14,83
	8	15,96	18,07	11,68
	9	15,76	17,26	8,69
	10	16,19	17,89	9,50
	11	15,98	17,29	7,58
	12	15,85	17,02	6,87
	13	15,95	18,29	12,79
	14	15,93	18,90	15,71
	15	16,20	18,12	10,60
	16	15,70	18,01	12,83
	17	15,72	18,41	14,61
	18	15,73	17,54	10,32
	19	16,15	18,00	10,28
	20	15,70	18,63	15,73
	21	15,79	17,76	11,09
	22	15,90	18,36	13,40
	23	15,98	18,21	12,25
	24	15,80	17,98	12,12
	25	15,70	17,89	12,24
	26	15,90	18,31	13,16
	27	15,96	17,93	10,99
	28	15,70	19,19	18,19
	29	15,87	18,04	12,03
	30	15,77	18,36	14,11
	31	15,70	18,05	13,02
	32	15,89	17,70	10,23
	33	16,03	17,58	8,82
	34	16,21	17,87	9,29
	35	15,91	17,85	10,87
	36	15,86	18,05	12,13
	37	15,71	18,21	13,73
	38	16,08	17,32	7,16
	39	15,85	19,01	16,62
	40	15,93	18,07	11,84
	41	16,02	18,30	12,46
	42	16,12	18,20	11,43
	43	15,83	18,03	12,20
	44	15,79	17,15	7,93
	45	15,90	19,95	20,30
	46	15,98	18,11	11,76
	47	15,79	17,68	10,69
	48	15,90	17,87	11,02
	49	15,98	18,78	14,91
	50	16,00	17,68	9,50

Estadísticos

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
A	H 2	50	4,56	1,28	27,98	3,40	9,77
M	H 2	50	12,00	2,72	22,70	6,87	20,30
P	H 2	50	22,98	12,11	52,70	11,76	50,62

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
H 2	150	0,53	0,52	54,66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8583,11	2	4291,56	82,68	<0,0001
Tratamiento	8583,11	2	4291,56	82,68	<0,0001
Error	7630,42	147	51,91		
Total	16213,53	149			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,38217

Error: 51,9076 gl: 147

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
A	4,56	50	1,02	A
M	12,00	50	1,02	B
P	22,98	50	1,02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Hinchamiento en agua fría por 24 horas

Hinchamiento por 24 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
Algarrobo	1	15,74	16,70	5,75
	2	15,74	16,82	6,42
	3	16,01	17,78	9,96
	4	15,75	16,74	5,91
	5	15,84	17,23	8,07
	6	16,08	17,88	10,07
	7	15,82	16,83	6,00
	8	15,73	18,30	14,04
	9	15,73	17,20	8,55
	10	16,04	17,84	10,09
	11	16,11	18,15	11,24
	12	15,80	16,99	7,00
	13	16,07	17,84	9,92
	14	15,90	16,98	6,36
	15	16,01	18,04	11,25
	16	15,83	16,86	6,11
	17	16,14	17,90	9,83
	18	15,81	17,07	7,38
	19	15,78	17,13	7,88
	20	15,69	16,63	5,65
	21	15,65	16,62	5,84
	22	15,85	17,23	8,01
	23	15,63	18,00	13,17
	24	15,78	17,09	7,67
	25	16,07	18,02	10,82
	26	15,86	17,19	7,74
	27	15,73	16,76	6,15
	28	15,58	16,89	7,76
	29	15,77	16,82	6,24
	30	15,79	16,75	5,73
	31	15,81	16,79	5,84
	32	16,18	18,00	10,11
	33	15,86	16,87	5,99
	34	15,84	16,90	6,27
	35	15,70	16,52	4,96
	36	16,01	17,89	10,51
	37	15,82	17,20	8,02
	38	15,56	17,00	8,47
	39	16,02	17,79	9,95
	40	15,80	16,89	6,45
	41	16,05	17,93	10,49
	42	15,98	17,77	10,07
	43	15,63	17,09	8,54
	44	15,81	16,76	5,67
	45	15,85	16,89	6,16
	46	16,14	18,07	10,68
	47	15,94	17,34	8,07
	48	16,02	17,83	10,15
	49	15,67	16,98	7,71
	50	15,56	16,89	7,87

Hinchamiento por 24 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
Pino	1	15,96	34,66	53,95
	2	15,65	21,34	26,66
	3	15,98	21,1	24,27
	4	15,99	21,77	26,55
	5	15,97	20,72	22,92
	6	15,89	21,35	25,57
	7	15,81	21,06	24,93
	8	15,94	21,66	26,41
	9	16,18	35,90	54,93
	10	15,96	21,80	26,79
	11	15,81	20,48	22,80
	12	15,69	20,78	24,49
	13	16,08	21,76	26,10
	14	15,94	21,29	25,13
	15	15,98	20,89	23,50
	16	15,65	20,35	23,10
	17	16,04	18,97	15,45
	18	15,76	21,21	25,70
	19	15,93	21,52	25,98
	20	16,01	21,13	24,23
	21	16,10	35,65	54,84
	22	16,00	34,91	54,17
	23	16,51	19,65	15,98
	24	16,01	39,61	59,58
	25	16,14	18,78	14,06
	26	15,93	21,27	25,11
	27	16,19	34,16	52,61
	28	15,83	20,98	24,55
	29	16,19	19,90	18,64
	30	15,83	20,76	23,75
	31	15,76	20,87	24,48
	32	16,29	19,62	16,97
	33	15,54	21,65	28,22
	34	15,75	20,76	24,13
	35	15,68	21,07	25,58
	36	15,90	19,80	19,70
	37	16,08	19,17	16,12
	38	15,81	21,84	27,61
	39	15,79	20,71	23,76
	40	15,78	21,2	25,57
	41	15,77	21,29	25,93
	42	16,48	19,30	14,61
	43	16,02	33,08	51,57
	44	16,01	33,88	52,74
	45	15,99	35,02	54,34
	46	16,08	34,00	52,71
	47	15,96	35,09	54,52
	48	15,97	22,02	27,48
	49	16,64	20,81	20,04
	50	16,25	19,17	15,23

Hinchamiento por 24 hs				
Tratamiento	M N°	ei (mm)	ef (mm)	Hinchamiento (%)
Mezcla	1	15,36	18,22	15,70
	2	15,41	19,55	21,18
	3	15,41	18,27	15,65
	4	15,78	19,23	17,94
	5	15,87	18,42	13,84
	6	15,91	19,61	18,87
	7	15,89	19,12	16,89
	8	15,78	17,77	11,20
	9	15,90	18,40	13,59
	10	16,03	18,76	14,55
	11	15,90	18,66	14,79
	12	16,09	17,86	9,91
	13	15,76	19,44	18,93
	14	15,91	19,27	17,44
	15	15,93	17,80	10,51
	16	15,68	17,91	12,45
	17	16,05	18,14	11,52
	18	15,73	19,03	17,34
	19	15,71	19,15	17,96
	20	15,88	19,21	17,33
	21	15,93	19,82	19,63
	22	16,17	18,63	13,20
	23	16,00	18,32	12,66
	24	15,90	19,84	19,86
	25	15,70	19,78	20,63
	26	15,94	18,90	15,66
	27	16,10	19,91	19,14
	28	15,81	18,49	14,49
	29	15,88	18,43	13,84
	30	15,96	19,66	18,82
	31	16,06	18,77	14,44
	32	15,93	17,87	10,86
	33	16,00	17,99	11,06
	34	15,94	20,03	20,42
	35	15,84	17,58	9,90
	36	15,56	19,84	21,57
	37	16,12	18,56	13,15
	38	15,75	19,41	18,86
	39	15,86	18,53	14,41
	40	16,01	18,64	14,11
	41	15,73	19,95	21,15
	42	15,91	18,12	12,20
	43	15,81	20,00	20,95
	44	15,86	18,06	12,18
	45	15,83	17,99	12,01
	46	16,02	19,10	16,13
	47	15,90	17,84	10,87
	48	15,95	18,66	14,52
	49	15,73	19,55	19,54
	50	15,97	18,22	12,35

Estadísticos

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
A	H 24	50	8,17	2,15	26,27	4,96	14,04
M	H 24	50	15,76	3,27	20,77	10,51	21,57
P	H 24	50	23,74	5,41	22,78	14,06	51,57

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
H 24	150	0,74	0,73	24,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6061,62	2	3030,81	203,94	<0,0001
Tratamiento	6061,62	2	3030,81	203,94	<0,0001
Error	2184,57	147	14,86		
Total	8246,19	149			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,80969

Error: 14,8610 gl: 147

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
A	8,17	50	0,55	A
M	15,76	50	0,55	B
P	23,74	50	0,55	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Estadísticos

- Peso específico

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
A	Pe	40	0,70	0,03	4,12	0,64	0,75
M	Pe	40	0,73	0,04	5,37	0,65	0,84
P	Pe	40	0,72	0,06	8,08	0,61	0,84

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pe	120	0,05	0,03	6,11

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,01	2	0,01	2,99	0,0540
Tratamiento	0,01	2	0,01	2,99	0,0540
Error	0,23	117	1,9E-03		
Total	0,24	119			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02329

Error: 0,0019 gl: 117

Tratamiento Medias n E.E.

A	0,70	40	0,01	A
P	0,72	40	0,01	A
M	0,73	40	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

- Humedad

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Min	Máx
A	Humedad	40	1,86	0,38	20,37	0,96	2,46
M	Humedad	40	2,56	0,26	10,16	2,02	3,00
P	Humedad	40	1,88	0,43	22,61	1,03	2,98

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad	120	0,46	0,45	17,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,78	2	6,39	48,88	<0,0001
Tratamiento	12,78	2	6,39	48,88	<0,0001
Error	15,29	117	0,13		
Total	28,07	119			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19191

Error: 0,1307 gl: 117

Tratamiento Medias n E.E.

A	1,86	40	0,06	A
P	1,88	40	0,06	A
M	2,56	40	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 4: Propiedades mecánicas

Tratamiento Algarrobo

Probeta	ancho (mm)	espesor (mm)	Carga máx. (kg)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (N/mm2)	MOR (N/mm2)
1	49,43	16,39	15,50	4,20	0,33	39.474,05	52,53	3.820,69	5,08
2	49,28	16,02	17,00	7,70	1,29	57.645,89	60,49	5.579,55	5,85
3	49,20	15,88	10,00	2,90	0,06	814.702,46	36,27	78.855,05	3,51
4	49,21	15,98	14,50	3,00	0,06	570.394,66	51,92	55.208,50	5,03
5	48,42	15,94	22,50	3,60	0,05	533.321,14	82,30	51.620,15	7,97
6	49,28	16,00	22,50	3,40	0,06	415.039,06	80,26	40.171,63	7,77
7	49,32	16,11	15,50	4,70	0,13	376.565,01	54,49	36.447,73	5,27
8	49,30	15,32	19,00	5,80	0,51	112.365,16	73,89	10.875,82	7,15
9	49,14	15,70	17,00	5,90	0,38	159.303,13	63,16	15.418,95	6,11
10	49,33	15,94	23,50	6,00	0,49	86.841,26	84,37	8.405,37	8,17
11	49,60	15,74	14,00	4,00	0,28	176.629,61	51,27	17.095,98	4,96
12	48,50	15,85	14,00	5,10	0,87	70.980,47	51,71	6.870,20	5,00
13	49,50	15,63	14,50	5,00	0,55	110.832,25	53,96	10.727,45	5,22
14	49,55	16,15	15,50	6,30	0,92	70.795,75	53,97	6.852,32	5,22
15	49,45	15,93	13,50	4,60	0,18	316.088,00	48,41	30.594,16	4,69
16	49,84	15,77	17,50	5,70	0,50	112.118,04	63,53	10.851,91	6,15
17	49,34	15,63	16,00	6,80	1,02	73.657,27	59,73	7.129,29	5,78
18	49,43	15,82	17,00	5,40	0,49	110.518,02	61,84	10.697,04	5,99
19	49,33	16,02	9,50	4,00	0,26	265.876,09	33,77	25.734,15	3,27
20	49,21	15,77	8,50	3,20	0,14	462.819,56	31,25	44.796,31	3,03

Flexión estática: MOR y MOE

Tratamiento Pino

Probeta	ancho (mm)	espesor (mm)	Carga máx. (kg)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (N/mm2)	MOR (N/mm2)
1	49,25	15,55	18,50	7,00	0,62	41.154,06	69,91	3.983,30	6,77
2	49,55	15,57	20,00	7,10	0,77	33.278,36	74,92	3.221,01	7,25
3	49,14	15,58	26,50	10,10	1,16	31.624,94	99,97	3.060,98	9,68
4	49,25	15,98	26,00	9,80	1,05	31.347,58	93,03	3.034,13	9,00
5	49,25	15,80	21,00	6,70	0,54	43.112,91	76,86	4.172,90	7,44
6	49,38	15,63	29,50	7,70	0,57	48.360,59	110,04	4.680,82	10,65
7	49,22	15,68	20,50	8,00	0,87	32.711,07	76,23	3.166,10	7,38
8	49,31	15,94	21,50	7,60	1,05	24.464,04	77,22	2.367,87	7,47
9	49,36	15,79	15,00	4,60	0,51	31.330,68	54,85	3.032,50	5,31
10	49,32	15,50	17,50	5,60	0,58	35.485,07	66,46	3.434,60	6,43
11	49,31	15,70	15,50	5,10	0,43	41.953,82	57,39	4.060,71	5,55
12	49,20	15,93	29,50	8,30	0,62	45.433,66	106,33	4.397,52	10,29
13	49,34	15,91	13,50	4,30	0,48	30.431,36	48,64	2.945,45	4,71
14	49,25	15,84	13,50	4,50	0,54	28.737,62	49,16	2.781,51	4,76
15	49,09	15,86	24,50	9,30	1,02	31.425,63	89,29	3.041,69	8,64
16	49,25	15,65	25,00	7,70	0,64	43.019,49	93,26	4.163,86	9,03
17	49,31	15,77	13,00	4,10	0,34	42.089,97	47,70	4.073,89	4,62
18	49,55	15,88	19,00	6,10	0,63	32.938,05	68,43	3.188,07	6,62
19	49,30	15,70	20,00	6,10	0,63	34.256,83	74,06	3.315,72	7,17
20	49,55	15,50	6,50	2,00	0,09	81.292,88	24,57	7.868,34	2,38

Tratamiento Mezcla									
Probeta	ancho (mm)	espesor (mm)	Carga máx. (kg)	Carga* (kg)	Deformación* (mm)	MOE (kg/cm2)	MOR (kg/cm2)	MOE (N/mm2)	MOR (N/mm2)
1	49,30	16,00	17,50	5,70	0,57	33.426,96	62,40	3.235,40	6,04
2	49,43	15,58	18,00	6,60	0,77	30.950,24	67,51	2.995,67	6,53
3	49,21	16,00	28,50	9,30	0,98	31.779,52	101,80	3.075,94	9,85
4	49,26	15,96	11,00	3,80	0,33	38.813,28	39,45	3.756,74	3,82
5	49,32	15,92	13,50	4,50	0,52	29.353,55	48,60	2.841,13	4,70
6	49,08	16,01	18,50	7,10	1,00	23.794,88	66,18	2.303,11	6,41
7	49,45	15,78	16,00	5,60	0,56	34.738,93	58,47	3.362,38	5,66
8	49,39	15,83	28,00	9,20	0,92	34.452,60	101,81	3.334,67	9,85
9	49,23	15,75	10,00	3,00	0,09	116.979,84	36,85	11.322,48	3,57
10	49,25	15,80	19,00	5,40	0,49	38.293,40	69,54	3.706,42	6,73
11	49,30	15,55	16,50	8,10	1,16	25.426,86	62,29	2.461,07	6,03
12	49,32	15,63	23,00	6,80	0,60	40.622,01	85,90	3.931,80	8,31
13	49,32	15,55	22,50	6,80	0,63	39.287,82	84,90	3.802,67	8,22
14	49,39	15,74	23,50	9,40	1,20	27.453,47	86,42	2.657,22	8,36
15	49,44	15,74	26,50	7,80	0,68	40.160,29	97,36	3.887,11	9,42
16	49,10	15,90	16,50	4,70	0,18	89.300,99	59,82	8.643,44	5,79
17	49,12	15,82	17,50	8,10	0,64	43.926,95	64,06	4.251,69	6,20
18	49,26	15,88	11,50	4,00	0,18	76.040,57	41,66	7.359,97	4,03
19	49,47	15,48	17,50	4,90	0,59	30.548,72	66,43	2.956,81	6,43
20	49,45	15,92	12,50	4,40	0,31	48.017,47	44,88	4.647,61	4,34

Estadísticos

- MOR

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
A	MOR	20	5,56	1,43	25,80	3,03	8,17
M	MOR	20	6,51	1,95	29,93	3,57	9,85
P	MOR	20	7,06	2,12	30,05	2,38	10,65

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MOR	60	0,10	0,07	29,14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	22,96	2	11,48	3,32	0,0431
Tratamiento	22,96	2	11,48	3,32	0,0431
Error	196,81	57	3,45		
Total	219,77	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,41404

Error: 3,4529 gl: 57

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
A	5,56	20	0,42	A
M	6,51	20	0,42	A B
P	7,06	20	0,42	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

- MOE

Medidas resumen

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	CV	Min	Máx
A	MOE	20	6442,90	804,40	12,48	3820,69	8405,37
M	MOE	20	4226,67	2281,56	53,98	2303,11	11322,48
P	MOE	20	3699,55	1159,07	31,33	2367,87	7868,34

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MOE	60	0,38	0,36	32,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	84770211,23	2	42385105,61	17,67	<0,0001
Tratamiento	84770211,23	2	42385105,61	17,67	<0,0001
Error	136724373,22	57	2398673,21		
Total	221494584,45	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1178,57341

Error: 2398673,2143 gl: 57

Tratamiento Medias n E.E.

P 3699,55 20 346,31 A

M 4226,67 20 346,31 A

A 6442,90 20 346,31 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



UNSE **40** años
Universidad Nacional
de Santiago del Estero



**FACULTAD DE
CIENCIAS FORESTALES**
Ing. Néstor René Ledesma



Conservar usando racionalmente
INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA
"Ing. Walter Facal"